

36355 Thèse Lyon 1880

ROLE CHIMIQUE

DES

FERMENTS FIGURÉS

PAR

LE D^r A. CHAPUIS

Pharmacien Aide-Major de Première Classe

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Lyon



PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE & FILS

19, rue Hautefeuille, près du Boulevard St-Germain

—
1880

AVANT - PROPOS

Nous entendons par Fermentations, tous les phénomènes chimiques dûs aux cellules vivantes. En d'autres termes, les fermentations sont une page de la physiologie intime des cellules, qui peut se traduire par des équations chimiques dont les unes sont nettes et éclairées, et dont les autres beaucoup plus obscures attendent encore la solution de l'avenir.

Autrefois, on distinguait dans les fermentations l'action des ferments solubles, de l'action des cellules microscopiques et autonomes, microzoaires, microphytes. Aujourd'hui cette division devrait être proscrite de la science, puisqu'on sait que les cellules sécrètent souvent ces ferments solubles, agents directs des fermentations. On ne peut non

plus confiner ces phénomènes dans les actes vitaux propres aux microorganismes, puisque des agents volumineux, véritables agrégats de cellules, opèrent des fermentations analogues. Les cellules d'un fruit déterminent la fermentation alcoolique, comme le fait un *saccharomyces*.

Dire que les fermentations constituent des phénomènes chimiques propres aux cellules vivantes, c'est élargir la définition en se conformant aux faits découverts et en prévoyant les faits à découvrir. Quand la chimie physiologique sera constituée tous ces phénomènes s'éclaireront.

De la cellule libre à l'organisme le plus élevé, l'anatomiste suit les transitions insensibles; de la physiologie chimique de la cellule, à la physiologie chimique de l'organisme le plus complet, le chimiste physiologiste nous tracera les liens, les analogies et les transitions, dans un avenir plus ou moins rapproché.

Mais avant cette époque, et dans l'état actuel de la science, les réactions chimiques produites par les microorganismes sont plus ou moins nettes. Certaines s'expriment par une équation précise, d'autres — et ce sont les plus nombreuses — se traduisent par des données chimiques beaucoup étudiées,

mais mal définies. Si nous connaissons les termes de la fermentation ammoniacale des urines, sommes-nous fixés sur la fermentation putride ? Connaissions nous davantage les termes de l'action du microbe du choléra des poules ?

En général, toutes les fois que l'action fermentative du microorganisme s'exerce aux dépens de produits complexes comme les matières albuminoïdes, nos connaissances sont peu définies et peu avancées.

Quoi qu'il en soit, et sans avoir la prétention d'expliquer ces décompositions complexes, nous insisterons, dans ce travail, plus particulièrement sur les fermentations dont les termes chimiques, s'ils ne sont pas bien connus sont au moins fort discutés. Nous étudierons rapidement celles que les études chimiques de l'avenir élucideront, et cela en signalant la voie ouverte aux recherches.

Dans une première division nous classerons par chapitre tout ce que l'on sait de l'histoire chimique des fermentations liées à l'évolution vitale des organismes vivants : fermentations acoolique, acétique... des albuminoïdes, et sous cette dernière dénomination, nous comprendrons avec l'étude de la putréfaction les fermentations pathologiques.

Dans chacune d'elles nous insisterons sur la manière d'agir des ferments : excrètent-ils un principe chimique intermédiaire agent direct de la fermentation, comme le veulent les théories de Cl. Bernard et de Berthelot, ou bien agissent-ils en vertu d'une action vitale propre, mal définie, comme le veut M. Pasteur, c'est ce que nous étudierons.

La deuxième partie sera consacrée à un exposé d'ensemble sur les fermentations en général et contiendra les conclusions de notre travail.

CHAPITRE PREMIER

FERMENTATION ALCOOOLIQUE

Sans nous égarer à la recherche d'un acte de naissance authentique, légendaire peut-être, contentons-nous de dire, en fait d'historique, que les boissons fermentées et l'alcool, leur principe enivrant, sont connus et goûtés depuis la plus haute antiquité, mais que d'hier seulement date l'étude précise de la fermentation alcoolique.

Dans ce phénomène complexe, les facteurs intéressants sont : le ferment — sa nature et son rôle, — et la matière fermentescible avec sa constitution et ses dédoublements.

Le ferment dans sa nature, la matière fermentescible dans ses transformations chimiques, seront tout d'abord ici l'objet d'une description rapide, singulièrement facilitée d'ailleurs par les magistrales

publications de ces dernières années, mais notre attention sera plus spécialement appelée et nous nous appesantirons davantage sur le véritable rôle du ferment, sur les conditions physiologiques et le moment de son action.

Comment agit le ferment ? Telle est, à vrai dire, la question à laquelle nous essayerons de répondre ; elle sera la base de notre travail. Grâce aux discussions récentes de Claude Bernard et de MM. Pasteur et Berthelot, cette face du problème vient d'acquérir un réel et nouvel intérêt et, disons-le, le charme de l'actualité.

1^o LEVURES ALCOOLIQUES

La levûre ne commence à être connue d'une façon intime qu'à partir de 1680 ; c'est Leuwenhoek qui, le premier, constate au microscope sa forme globulaire, sphérique ou ovoïde. Mais quelle est sa nature ? Minérale, animale, végétale ! ou végéto-minérale, comme le voulait Fabroni (1) ? En 1835, Cagnard de Latour, après Leuwenhoek et Desmazières, lui découvre un aspect organisé, et sur ces considérations de modalités et de formes, croit pouvoir rigoureusement la classer dans le règne végétal. Turpin partage cette opinion et la développe quelques années plus tard, mais Ehrenberg, sans cependant la considérer comme un minéral, montre que cette manière de

(1) Mémoire présenté à l'Académie de Florence, 1787.

voir est trop absolue ; la forme globuleuse, en effet, n'est pas caractéristique des végétaux, car certains minéraux pouvaient la présenter ; quand aux bourgeonnements, ils pouvaient provenir d'une illusion, d'un rapprochement fortuit d'un petit et d'un gros globule. D'ailleurs, disait-on, pourquoi, dans la fermentation alcoolique, y aurait-il une levûre, un ferment spécial organisé, puisqu'on ne voit rien de semblable dans les fermentations voisines, lactique, butyrique, etc.... ?

C'est alors que les nouvelles recherches de Schvann (1) à Iena, de Kützing à Berlin (2), de Quevenne, de Mitscherlich, démontrent irrévocablement que la levûre est un amas de cellules organisées, vivantes, composées comme les cellules végétales ou animales d'une enveloppe et d'un contenu granuleux.

Mais restait à classer ce nouvel être vivant. Les uns y voyaient un champignon dépourvu de mycelium ; pour les autres, Kützing, en particulier, c'était une algûe. Pour tous aujourd'hui, les ferments alcooliques sont des champignons du genre *saccharomyces*, créé par Meyen, et adopté par Rees, Engel, etc.

Parmi les ferments de la bière nous trouvons :

1° Le *Saccharomyces cerevisiæ*, à cellules rondes ou ovales mesurant 8 à 9 millièmes de millimètres. Chacune d'elles possède une membrane de cellulose, mince, élastique, incolore ; un protoplasma tantôt

(1) Poggend. Ann. 1837, t. X, l. I, p. 184.

(2) Journ. Für Prakt. Chem. XI, p. 385.

homogène, tantôt granuleux, renfermant quelquefois un ou deux corpuscules de matière grasseuse, et de dimensions variables. Les cellules sont le plus souvent isolées, quelquefois réunies deux à deux, plus rarement en chapelet au nombre de trois à six et plus, comme l'ont indiqué Leuwenhoek, Turpin et M. Robin.

2° *Le Saccharomyces ellipsoïdeus*. — Il se différencie du précédent par la forme et la grandeur de ses cellules qui sont ellipsoïdes et mesurent 6 millièmes de millimètre de longueur sur 4 de largeur.

3° *Le Saccharomyces exiguus*. — Cellules petites, turbinées, ne produisant ordinairement qu'un ou deux bourgeons et se ramifiant dans cet ordre.

4° *Le Saccharomyces Pastorianus*. Il ressemble beaucoup au premier. Les cellules ont un diamètre de 0^{mm}006 et restent attachées au nombre de deux ou trois.

5° *Le Carpozyma apiculatum*. — Ferment apiculé d'Engel, il provient des bières d'Obernai, pays vignoble, et sa présence paraît s'expliquer par le voisinage de raisins ou des fruits qui le recèlent.

Parmi les ferments des fruits et du moût de raisin, nous rencontrons les *Saccharomyces ellipsoïdeus*, *Pastorianus*, *exiguus*, *Conglomeratus*, *Reesii*, et *Carpozyma apiculatum*.

Dans la fermentation panaire, cas particulier de la fermentation alcoolique, M. Engel a signalé la présence du *Saccharomyces minor*, de dimensions infinitésimales,

Enfin, les quelques autres ferments alcooliques observés sont :

1° Le *Saccharomyces mycoderma* (fleurs de vin, de bière) encore appelée *mycoderma vini*.

2° Les *mucor mucedo* et *racemosus*, donnant des développements différents suivant qu'ils sont ou non à l'abri de l'oxygène.

2° COMPOSITION CHIMIQUE DE LA LEVURE

En même temps que Marcet et Dumas (1), Mitscherlich, Schlossberger (2), Payen (3), et d'autres établissaient la composition élémentaire de la levûre, Schlossberger, en dehors de ces analyses sur les levûres de bière débarrassées, autant que possible, par lavage et décantation des impuretés qui peuvent les souiller, a cherché à isoler leurs principes immédiats. Pour y parvenir, il les traite par une solution faible de potasse caustique, filtre, neutralise la liqueur filtrée, et obtient ainsi un précipité blanc floconneux, exempt de cendres, qui a donné la composition suivante :

Carbone 55,5, hydrogène 7,5, azote 13.9.

Le résidu insoluble dans la potasse, épuisé par l'eau, l'acide acétique, donne un produit voisin de la

(1) *Essai de statique chimique*, 2^e édition, 1842.

(2) Schlossberger, *Ann. des chim. et pharm.*, t. XLI, p. 193.

(3) *Mémoire des savants étrangers*, 1846, t. IX, p. 32.

cellulose par sa composition, mais qui en diffère par ses propriétés chimiques. Cette cellulose ne se dissout pas dans l'oxyde de cuivre ammoniacal, et, bouillie avec de l'acide sulfurique, elle se convertit facilement en sucre fermentescible.

Plus tard, Mudler, traitant la levûre par l'acide acétique, et précipitant la liqueur filtrée par le carbonate d'ammoniaque, obtint des résultats plus rapprochés de la composition de l'albumine :

Carbone 53,3, hydrogène 7, azote 16.

D'après les expériences de Mitscherlich, les levûres laisseraient en moyenne de 7,50 à 7,70 0/0 de cendres, riches en acide phosphorique, potasse, chaux, magnésie, avec des traces de fer et d'acide chlorhydrique.

Nous pouvons donc conclure de ces analyses, que la levûre est une cellule semblable, ou comparable à celles qui entrent dans la constitution des grands végétaux. Elle possède comme elles une enveloppe de cellulose à divers degrés d'évolution, un protoplasma albumineux, des matières hydrocarbonées analogues à la gomme et des substances grasses et résineuses. Différence légère, sa teneur en azote serait plus considérable que dans tous les autres tissus végétaux pris en bloc.

Enfin, M. Schützenberger (1) fait remarquer, qu'envisagé dans son ensemble, la levûre — partie insoluble

(1) Schützenberger, vie d'une cellule au point de vue chimique revue scientifique, 1878.

ble dans l'eau — est un homologue inférieur de la partie qui subsiste après une digestion prolongée. D'une manière plus précise, on dira que l'enveloppe, telle qu'elle résulte de la désassimilation et de la liquéfaction du contenu, a la même constitution que ce dernier et n'en diffère que par le rapport commun CH^2 . Ces variations de composition doivent se faire non brusquement, mais par gradation régulière, de l'extérieur à l'intérieur.

3^e CORPS FERMENTESCIBLES.

Parmi les corps capables de subir la fermentation alcoolique, les uns sont susceptibles de se transformer immédiatement, d'autres, au contraire, ont besoin de s'hydrater. Les premiers, *directement fermentescibles*, comprennent la glucose, la levulose, la maltose, la lactose — dérivé de la lactine. — Les seconds, *indirectement fermentescibles*, renferment le saccharose, la mélitoze, la tréhalose, la mélezitose, la lactine, l'amidon, la dextrine, les gommes et la substance glyco-gène.

Les divers composés de chacun de ces groupes, ne possèdent pas le même pouvoir fermentescible ; les uns sont plus vite décomposés, d'autres au contraire, ne sont jamais complètement transformés. Ainsi, dans les corps *directement fermentescibles*, nous verrons, d'après les travaux de Dubrunfaut, que la glucose, mélangée à la levulose, fermente avant celle-ci.

C'est là ce que Dubrunfaut appelle *fermentation élective*. Dans le second groupe, nous remarquerons avec M. Berthelot, que la mélitoze se transforme partie en produit de décomposition, partie en un corps isomère de la glycose, l'eucaline non fermentescible.

Leur décomposition. — Si nous envisageons la fermentation alcoolique comme une réaction chimique ordinaire, nous étudierons et le corps qui se décompose et les produits de décomposition. Le corps qui se décompose, c'est le sucre, et depuis longtemps Becher avait reconnu la nécessité de sa présence dans le moût de raisin pour faire le vin. C'est Lavoisier, le premier, qui a étudié les relations qui existent entre le sucre et ses dérivés. Il avait vu que les effets de la fermentation vineuse se réduisent à séparer en deux portions le sucre qui est oxydé, à oxygéner l'une au dépens de l'autre pour former de l'acide carbonique ; à désoxygéner l'autre au profit de la première pour former une substance combustible qui est l'alcool ; en sorte que s'il était possible de recombinaison ces deux substances, l'alcool et l'acide carbonique, on reformerait du sucre.

Pour Lavoisier (1), le dédoublement du sucre était donc nettement formulé par l'équation.



Vingt ans après, alors que l'analyse élémentaire avait permis de fixer la composition du sucre et de

(1) *Traité élémentaire de Chimie*, t. 1, page 150, 1789.

l'alcool. Gay-Lussac (1) disait : si l'on suppose que les produits fournis par les ferments puissent être négligés relativement à l'alcool et à l'acide carbonique, qui sont les seuls résultats sensibles de la fermentation, on trouvera que sur cent parties de sucre, il s'en convertit pendant la fermentation 51 p. 34 en alcool et 48,66 en acide carbonique.

Ces résultats confirmaient ceux de Lavoisier, mais ils étaient en désaccord avec les analyses de Gay-Lussac lui-même sur le sucre de canne, le saccharose. D'après ces analyses, le saccharose avait pour formule $C^{12} H^{22} O^{11}$, tandis que l'analyse des produits de fermentation donnaient $2 C^6 H^{12} O^6$. MM. Dumas et Boullay, reprenant ces analyses, constatent un accord parfait dans la théorie toutes les fois qu'ils opèrent sur le glucose, et un désaccord au contraire lorsqu'ils se servent du saccharose. Pour ces savants la conclusion est : Que le sucre de canne ne peut fermenter sans assimiler les éléments d'une molécule d'eau. L'équation de Gay-Lussac était juste, mais alors on devait écrire la formule du saccharose augmenté d'une molécule d'eau. Les conclusions furent vérifiées par Dubrunfaut, lequel observait en 1832, que, pour fermenter le sucre de canne se transformait préalablement en sucre incristallisable. — Glucose et levulose.

La question en était là lorsqu'en 1847 le docteur Schmidt de Dorpat, signala la présence de l'acide succinique dans tous les liquides fermentés. Mais ces

(1) *Ann. de Chimie*, t. XV, p. 318.

expériences restèrent dans l'oubli, il est vrai qu'elles avaient été faites sur des levûres impures, — et il était donné à M. Pasteur (1) de résoudre le problème depuis si longtemps poursuivi. A la suite de recherches et d'essais inattaquables, ce savant démontre que :

1° Dans toute fermentation alcoolique, outre de l'alcool et de l'acide carbonique, termes principaux, il se forme de la glycérine et de l'acide succinique ;

2° La glycérine et l'acide succinique sont produits aux dépens des éléments du sucre, et la levûre n'y prend aucune part ;

3° En outre, le sucre cède une certaine portion de sa substance à la levûre nouvelle qui se développe ;

4° L'acide lactique, dont on observe la production en quantité variable dans la fermentation alcoolique, est le résultat d'une fermentation spéciale différente de celle-là et marchant parallèlement à elle.

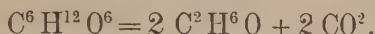
Les proportions trouvées seraient pour 100 de saccharose (donnant 105.36 de glucose) :

Alcool.	51.11
Acide carbonique.	48.19
— succinique	0.67
Glycérine	3.16
Cellulose, graisses, extractif. . .	1.00

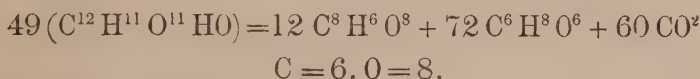
M. Pasteur représente la fermentation de la façon suivante :

(1) Pasteur, *Annales de Chimie et Physique*, 3^e série, t. LVIII, p. 330.

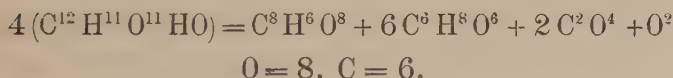
Sur 100 parties de sucre de canne interverti, 95 parties donnent :



Des 5 parties restantes, 4 environ — 4.21 de sucre interverti — fourniraient de l'acide succinique, de la glycérine et de l'acide carbonique, d'après l'équation :



A cette équation, M. Monoyer a tenté d'en substituer une plus simple :



Cet oxygène servirait à la respiration de la levûre.

D'un autre côté, pour se rendre compte de la possibilité chimique de la production de la glycérine et de l'acide succinique, aux dépens du sucre, M. Schützenberger (1) fait remarquer qu'en additionnant les formules de la glycérine et de l'acide succinique, atome par atome, on arrive à une somme dans laquelle l'hydrogène et l'oxygène sont dans les proportions voulues pour former de l'eau.



et

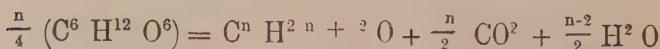


(1) Schützenberger. *Des Fermentations*, 1876.

Le phénomène de décomposition du sucre, considéré longtemps comme très-simple, s'est considérablement compliqué, et, d'après M. Pasteur, les proportions de glycérine et d'acide succinique par rapport à l'alcool ne sont pas absolument constantes. Elles dépendent de conditions reliées directement à la rapidité de la fermentation, à l'état de la levûre, toutes choses que nous étudierons avec le rôle du ferment. Ces productions ne sont pas les seules ; M. Duclaux a signalé la présence constante de l'acide acétique, d'autres y ont rencontré des alcools supérieurs de la série grasse, de l'alcool propylique (1), butylique (2), amylique (3), caproïque (4), et quelques traces d'acide de cette série.

M. Jeanjean a, en outre, constaté dans les produits de distillation de l'eau de lavage de la garance fermentée, la présence d'un camphre de Borneo, $C^{10}H^{18}O$ sans savoir cependant si ces dérivés secondaires proviennent de la fermentation alcoolique ou d'autres concomitantes.

M. Berthelot, à ce sujet, fait observer que la production des homologues supérieurs de l'alcool ordinaire, formés aux dépens du sucre, peut se formuler ainsi :



Nous terminerons l'étude des produits de fermentation par l'exposé de la méthode suivie par M. Pas-

(1) Chancel, Comptes-rendus, t. XXXVII, p. 410.

(2) Wurtz, Comptes-rendus, t. XXXV, p. 310.

(3) Pelletan, *Annales de Chimie et Physique*, t. XXX, p. 221.

(4) Faget, Comptes-rendus, t. XXXVII, p. 730.

teur, pour rechercher et doser la glycérine et l'acide succinique des liquides fermentés.

La fermentation terminée, et le sucre disparu, on filtre le liquide pour séparer la levûre, et on le soumet à une évaporation très-lente, — douze à vingt heures par demi-litre. — Lorsqu'il se trouve réduit à 20 ou 30 cent. cubes on continue l'évaporation dans le vide. Le résidu sirupeux de la capsule est traité à diverses reprises par un mélange d'alcool et d'éther (une partie d'alcool à 30 ou 32⁰¹ et une partie et demie d'éther rectifié). Il suffit de six ou sept lavages pour enlever toutes traces d'acide succinique et de glycérine. Le liquide, éthéro-alcoolique, est distillé dans un matras, évaporé dans une capsule, au bain-marie, puis dans le vide sec. On ajoute au résidu de l'eau de chaux pure jusqu'à neutralisation, on évapore de nouveau et on reprend la masse sèche par le mélange d'alcool et d'éther qui ne dissout que la glycérine. Le succinate de chaux reste sous forme de poudre cristalline, coloré par un peu de matières extractives, et souillé par un sel de chaux à acide incristallisable. Il suffit de purifier le succinate de chaux par un traitement à l'alcool à 80°, qui dissout les matières étrangères. La liqueur éthéro-alcoolique qui a dissout la glycérine est évaporée, et le résidu est pesé après dessiccation dans le vide sec.

4° MODES DE FERMENTATIONS ET ORIGINE
DU FERMENT

Les liqueurs sucrées fermentent, les unes après ensemencement, les autres spontanément.

Dans la première catégorie, nous signalerons :

1° La fermentation du moût de bière par les procédés dits, fermentation *basse* ou *infère*, *haute* ou *supère* ;

2° La fermentation panaière.

Quant à la fermentation *spontanée*, — expression qui s'applique à toute levûre qui apparaît dans un liquide fermentescible non ensemencé directement, — nous la trouvons dans le moût de bière belge et dans les moûts de fruits en général, car c'est à elle que nous devons le vin, le cidre, le rhum, l'eau-de-vie de genièvre, de gentiane, etc.

Mais si l'on connaît l'origine de la levûre dans le premier cas, il reste à se demander d'où vient celle qui se développe dans la fermentation spontanée.

L'antiquité admettait la génération spontanée, et cette croyance s'est continuée sans interruption presque jusqu'à nos jours. Il y avait eu cependant quelques cas isolés de réaction ; ainsi au xvii^e siècle le Florentin Redi démontrait, contrairement à l'opinion générale, que la viande en putréfaction donnait naissance à des vers, par cela seul qu'elle renfermait des œufs déposés par des mouches, et

qu'à l'abri des mouches le fait ne se produisait pas. Grâce à lui et aux essais de Swammerdam et Vallisneri, la doctrine de la génération spontanée commence à s'ébranler. En 1745, et quelques années plus tard, apparaissent les expériences de Needham, combattues par Spallanzani, un siècle après, les analyses de Gay-Lussac, sa théorie sur l'influence de l'oxygène dans la fermentation, les objections de Schwann, de Schultze, de Schröder et de Dusch.

Dès lors, il n'était plus possible d'attribuer à l'air, pas plus qu'à la liqueur une force végétative, mais il restait à déterminer le rôle de la calcination, des filtres de coton de Schröder et Dusch, à définir en un mot, le principe fécondant des liqueurs. M. Pasteur se chargea de ce soin, et par une série d'expériences, faites exclusivement sur des liquides bouillis, est arrivé aux démonstrations suivantes :

1° Par filtration sur le coton, l'air se débarrasse d'un grand nombre de corpuscules flottants dont quelques-uns ressemblent aux spores des moisissures et aux œufs des microzoaires ;

2° Toutes les infusions organiques, convenablement chauffées, restent intactes en présence de l'air calciné, mais, après avoir constaté leur stérilité, vient-on à y introduire une bourre de coton chargée de poussières puisées dans l'air, immédiatement elles se comportent comme si elles avaient été librement exposées à l'air ambiant. Leur faculté génésique, leur vertu générative n'étaient donc pas détruites ;

3° Enfin, l'inaptitude de l'air filtré sur le coton à féconder les infusions n'est liée en rien, ni au coton, ni aux changements éprouvés par l'air à travers cette substance, car on peut la supprimer complètement à la condition d'arrêter par un autre dispositif la rentrée des éléments solides de l'air. Elle ne tient pas davantage à ce que la liqueur d'opération a subie l'ébullition, car on obtient les mêmes résultats avec des liquides non bouillis, mais absolument privés de germes.

Pour M. Pasteur, la fermentation spontanée est une chimère, et ceux qui la croient démontrée sont les victimes et le jouet d'une illusion.

La preuve tirée de l'énorme quantité des germes, ne tient pas devant ce fait dont on peut s'assurer avec M. Duclaux, qu'un Klopode peut en 48 heures donner naissance à seize millions d'infusoires comme lui.

Un globule de levûre peut en donner seize millions en 24 heures, et MM. Dollinger et Drysdale ont vu un *Cercomonade* produire en 3 heures plus d'infusoires qu'il n'y a d'habitants sur la terre.

Mais dans la généralité des cas il n'y a (1) que peu de levûre dans l'air ; à Paris, M. Miquel n'en a trouvé que des traces. Si donc le moût de raisin s'en-

(1) Cependant d'après M. Vauréal, la levûre alcoolique ne se reproduirait pas par gemmiparité, son enveloppe de cellules n'étant pas contractile. Les granulations ou éléments nucléolaires seraient des spermaties qui devenues libres par rupture de l'utricule en reproduiraient d'autres. Le transport par l'air serait facilité.

semençait par cette voie, il risquerait fort d'être envahi par des moisissures, et de ne pas donner de fermentation régulière. D'un autre côté, le jus trouble de raisin fermente très-bien, tandis que le jus intact dans le grain n'entre pas en fermentation lorsque, par des procédés spéciaux, on le met en contact de l'air extérieur débarrassé de germes.

Pour chercher à se rendre compte de ces faits, examine-t-on au microscope les poussières répandues à la surface du raisin, ou de la grappe, on y découvre un grand nombre de cellules simples, incolores, translucides, et d'autres colorés en rouge brun. Si maintenant, sur le moût du raisin, stérilisé, on vient à déposer des poussières, on voit, à une température convenable, les cellules incolores donner des moisissures, et les colorées former par bourgeonnement une véritable levûre.

D'autres expériences, ont démontré qu'il n'y avait pas toujours des germes de levûre sur les raisins et les grappes. Ils font défaut de la fin de juillet au commencement d'août, et abondent à la maturité. Ils perdent de leur vitalité en décembre et sont absolument stériles en avril et mai. Ainsi une dessiccation prolongée anéantit la vie de la cellule, et la levûre trouvée à chaque vendange ne peut provenir de la précédente. — A ce sujet, M. Pasteur (1) s'exprime ainsi : Le *Saccharomyces pastorianus* nous offre un trait d'union entre le genre levûre et ces champignons

(1) Pasteur, *Etude sur la bière*, p. 177.

— *dematium pullulaus* (1) — dont l'habitat ordinaire est la surface des feuilles ou des bois morts, et qui sont surtout très-abondants sur le bois de vigne, à la fin de l'été et au commencement des vendanges. Tout porte à croire qu'à cette époque de l'année, un ou plusieurs de ces *dematium* fournissent des cellules de levûre. C'est la confirmation d'un soupçon qu'ont eu plusieurs de ceux qui ont beaucoup observé les levûres, c'est qu'elle devait être un organe d'un végétal plus complet. »

Enfin, M. Miquel (2), sans nier leur arrivée par l'air, pense que les levûres sont plutôt transportées par les trompes des mouches, car il a vu souvent des jus stérilisés, exposés à l'air dans des pays vignobles, se couvrir de moisissures sans donner lieu à des fermentations, si on avait soin de les préserver de l'approche des mouches.

5° FONCTIONS ET RÔLE CHIMIQUE DE LA LEVURE

La levûre, nous venons de le démontrer, est un végétal vivant, une véritable cellule, par suite susceptible de se nourrir et de se reproduire. Son rôle chimique serait-il directement lié à sa nutrition, à son développement, comme le veut M. Pasteur, ou, au contraire, les produits de fermentation ne se produiraient-ils pas en dehors de la vie, dans le jus des fruits

(1) De Bary, *Hofmeister*, t. II, p. 182, 1866.

(2) Miquel, *Comptes-rendus*, t. LXXXVII, p. 759, 1878.

pourris, comme l'indique Bernard? Que sais-je? pourrions-nous dire avec Montaigne.

Son mode de reproduction, nous l'avons étudié; sa nutrition, les éléments favorables à cet acte important de la vie de la cellule, se peuvent déduire à priori de sa composition.

La levûre est riche en azote, ses cendres renferment une notable quantité de phosphates de potasse, chaux, magnésie, des traces de chlorures et de fer. Tout ce qui pourra fournir ces éléments, favorisera donc son développement.

L'azote ne peut lui venir de l'air, car ce champignon, comme les plus grands végétaux, est incapable de se l'assimiler? mais il peut provenir des nitrates, comme Boussingault l'a démontré d'une façon absolue. Cependant, Mayer (1) et Schær, à la suite de nombreuses expériences, prétendent que l'azote des nitrates n'est pas assimilé par les plantes. En présence de ces divergences, M. Schützenberger (2) essaie d'envisager le problème de la façon suivante: « Pour assimiler l'azote d'un nitrate, la plante doit préalablement le réduire. Ou bien le sacchoromyces ne possède pas, vis-à-vis des nitrates, ce pouvoir réducteur, que nous trouvons dans d'autres cellules isolées et formant parties intégrantes d'organismes plus complexes, où les expériences ont été faites dans des conditions où ce pouvoir réducteur n'a pu se révéler. Quoi qu'il en

(1) *Lehrbuch der Gæhrunys. Chemie*, 1874.

(2) *Des Fermentations*. Paris, 1876, p. 67.

soit, avant de se prononcer dans le sens négatif, il convient de varier les expériences. »

Ces contestations cessent au sujet de l'azote des sels ammoniacaux, qui, de l'avis de tous les auteurs, Davy, Kuhlmann, Isidore-Pierre, Lawer et Gilbert, est parfaitement absorbé. L'expérience de M. Pasteur, qui fait vivre et se développer de la levûre dans un liquide où les seuls aliments azotés sont des sels ammoniacaux, est d'ailleurs concluante. De plus, M. Duclaux (1), a démontré que même environnée de matières organiques azotées plus facilement assimilables, elle ne dédaignait pas les sels ammoniacaux.

Les matières minérales, elles aussi, jouent un rôle dans la nutrition de la cellule. M. Pasteur, dans ses recherches sur les fermentations, a toujours employé dans le cas particulier, des cendres de levûre. L'utilité de cet aliment est telle que, supprimé, la vie des ferments est rendue presque impossible. Le phosphate de potasse a une importance considérable, et ne pourrait être remplacé par le phosphate de soude. La chaux peut disparaître sans grands inconvénients; il en serait de même de la silice, du fer, de la soude, et du chlore. La présence du soufre est constante, mais son origine est encore incertaine.

Les aliments hydrocarbonés de la cellule, de la levûre, sont les sucres, mais elle se comporte de différentes façons avec chacun d'eux. Leur importance, l'influence prépondérante de ces éléments a été démontrée par MM. Raulin et Pasteur dans leurs essais de

(1) Duclaux. *Des Fermentations*, p. 43.

végétation sur l'*aspergillus niger* et certaines mucédinées. Sans sucre, sans matières hydrocarbonées, la levûre ne peut se nourrir et se multiplier.

L'eau est également un principe indispensable à la levûre, comme à tout organisme vivant. D'après Wiener, elle peut se nourrir dans des limites d'hydratation comprises entre 40 et 80 0/0. Desséchée avec précaution, pulvérisée même, elle peut reprendre son action au contact de l'eau.

Nous venons d'assister à l'alimentation de la levûre, voyons maintenant, comment elle respire. L'action de l'oxygène a été diversement interprétée par les auteurs. Pour Pasteur (1), la levûre, toute formée, peut bourgeonner et se développer dans une liqueur sucrée albumineuse en l'absence complète de l'oxygène. La reproduction de la levûre est minime dans ce cas, il disparaît comparativement une grande quantité de sucre, 60 à 80 0/0, et la fermentation s'effectue lentement.

Si l'expérience est faite au contact de l'air et sur une grande surface, la fermentation est rapide. Pour la même quantité de sucre disparu il se fait beaucoup plus de levûre. L'air en contact céderait de l'oxygène qui serait absorbé par la levûre, elle se développerait donc rapidement, mais en ayant des tendances à perdre son caractère de ferment, car pour une partie de levûre formée il n'y aurait que 4 à 10 parties de sucre transformé. Toutes les qualités de ferment sont néanmoins conservées ; elles se trouvent même fort exaltées,

(1) Comptes-rendus de l'académie des sc., 28 juin 1861.

si on vient à les faire agir sur le sucre en dehors de l'influence de l'oxygène libre.

D'après M. Pasteur (1), il paraîtrait dès lors naturel d'admettre que, lorsque la levûre est ferment, c'est-à-dire qu'elle agit à l'abri de l'air, elle prend de l'oxygène au sucre. Ce serait là la véritable origine de son caractère de ferment. En résumé, la levûre de bière se comporterait absolument comme une plante ordinaire, et l'analogie serait complète si les plantes avaient pour l'oxygène une affinité qui leur permît de respirer à l'aide de cet élément enlevé à des composés peu stables, vis-à-vis desquels elles seraient alors de véritables ferments.

M. Schützenberger (2) a, par des expériences récentes, montré que si la lumière n'avait aucune influence sur le phénomène respiratoire. La température en avait un marqué ; il présenterait un minimum vers 10°, et son maximum, vers 40°. Les doses d'oxygène absorbé par un même poids de levûre seraient proportionnelles au temps, et, dans un même temps, proportionnelles au poids de la levûre. Il en résulte que le degré oxymétrique du milieu, n'a qu'une influence peu marquée, nulle même sur le phénomène.

Ce savant, a de plus constaté que la levûre digérée et lavée par le procédé de M. Bechamp, — moins l'eau créosotée, — était inerte à l'oxygène, sans

(1) Duclaux. *Des Fermentations*, p. 48.

(2) Schützenberger, *Revue scientifique*, 1878.

cependant que sa vitalité ait été détruite, si toutefois l'opération n'a pas été poussée trop loin.

La levûre provoquerait donc la fermentation alcoolique, toutes les fois que le ferment serait privé d'air ; ce phénomène serait d'ordre purement vital. Mais avant de discuter cette manière de voir, de donner les raisons qui ne nous permettent pas d'envisager la fermentation dans ce sens, nous exposerons rapidement les théories au moyen desquelles on a tenté la solution du problème.

Berzélius considérait les fermentations comme des actions catalytiques. La fermentation, disait-il, est une catalyse ordinaire, une action de présence comparable à celle qu'exerce la mousse de platine sur l'alcool qu'il transforme en aldéhyde d'abord, en acide acétique ensuite.

C'était, on le voit, une simple constatation de fait, plutôt une désignation qu'une explication ; d'ailleurs, il faut le dire, Berzélius ignorait à cette époque la nature organisée du ferment alcoolique, et il était bien près d'abandonner sa théorie, lorsqu'il disait :
« Il est très-difficile de se prononcer, quand on voit à
« l'aide du microscope de nouvelles formations conti-
« nuer, mais celui qui doute le plus longtemps, arrive
« toujours dans les questions de ce genre au résultat
« le plus sûr. »

Liebig et Gehrhardt, son élève, expliquent les fermentations d'une autre manière. Pour eux, le ferment n'agit que par contact ; c'est un corps capable de produire dans le milieu fermentescible une secousse

véritable. Cette manière de voir, ancienne déjà, était connue de Lefèvre en 1669, lorsqu'il écrivait :
« La fermentation est un mouvement de l'acide et de l'urineux ou alcali, qui combattent ensemble et donnent du mouvement aux particules qui composent le mixte. »

Telle était aussi, en 1684, l'opinion de Lemery :
« La fermentation est une ébullition causée par des esprits qui cherchent une issue pour sortir de quelques corps, et rencontrent les parties terrestres et grossières qui s'opposent à leur passage, font gonfler et raréfier les matières jusqu'à ce qu'ils soient détachés. Or, dans ce détachement les esprits divisent, subtilisent et séparent les principes, de sorte qu'ils rendent la matière d'une autre nature qu'elle était auparavant. »

Enfin, Liebig expose sa théorie qui n'est autre que celle des latrochimistes Willis et Stahl. « Si nous prenons comme exemple la fermentation alcoolique, dit-il, la levûre de bière et en général toutes les matières animales ou végétales en putréfaction reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elle se trouvent elles-mêmes. Le mouvement qui, par la perturbation d'équilibre s'imprime à leurs propres éléments, le communique également aux éléments des corps qui se trouvent en contact avec elles. »

Dans cet exposé, la fermentation serait corrélative de la décomposition, de la mort de la cellule, ou, pour caractériser la théorie de Liebig, il faudrait dire que la fermentation est une décomposition qui en entraîne une autre.

Mais, en 1836, Cagniard de Latour reconrnut par l'inspection microscopique, que la levûre de la fermentation alcoolique était formée de globules organisés, de cellules vivantes, capables de se reproduire, ayant une enveloppe et un contenu. Quelques années plus tard Turpin attribuait à ces globules végétaux, à leur germination, à leur végétation, à leur absorption la production d'alcool, aux dépens des éléments du sucre.

Cette théorie, tour à tour soutenue par Schwann, combattue par Ehrenberg, Gay-Lussac, est reprise et préconisée par M. Pasteur. La fermentation alcoolique devient alors un phénomène corrélatif de l'organisation, du développement, de la multiplication, c'est-à-dire de la vie de la cellule. C'était la théorie vitale, théorie physiologique de la fermentation, caractérisée par Turpin en 1838 par ces mots :

Fermentation comme effet, végétation comme cause.

Dans le cas particulier, la fermentation alcoolique est un exemple de destructions accomplies dans le cours de l'existence d'êtres particuliers que nous avons étudié.

Ces fermentations produites par des êtres organisés, nous le verrons plus tard, sont susceptibles de recevoir une très-grande généralisation. Il semblerait tout d'abord que beaucoup de cellules, soit animales, soit végétales, mises dans les conditions des cellules de levûre agissent comme celles-ci :

D'après M. Pasteur, la levûre provoque la fermentation alcoolique lorsqu'elle est privée d'air. Comme

cette levûre, pour subsister, a un besoin impérieux d'oxygène, qu'elle ne peut le prendre directement, elle se trouve dans l'alternative ou de périr ou de s'en procurer par un autre moyen. Ce moyen, c'est de prendre l'oxygène nécessaire aux matières ambiantes, au sucre par exemple, et de déterminer par le fait la fermentation. Elle engendre alors de la chaleur, et le calorique nécessaire dépensé dans le fonctionnement vital.

D'autres cellules agissent ou sont susceptibles de donner les mêmes résultats. Certaines plantes d'Afrique produisent de l'alcool dans leurs racines. Aussi, en 1821, M. Bérard avait fait voir que les fruits absorbent constamment l'oxygène et le remplacent par un volume égal d'acide carbonique ; il avait de plus remarqué que si on vient à placer le même fruit sous une cloche remplie d'acide carbonique, le dégagement de ce dernier gaz continue comme précédemment, et sans avaries pour le fruit. C'était une véritable fermentation aux dépens de la matière sucrée du fruit. MM. Lechartier et Bellamy (1), reprenant ces expériences ont de plus constaté que ces fruits se comportaient comme une levûre, et qu'ils transformaient une partie de leur sucre en alcool.

Il en serait de même des expériences de Muntz (2). Ce chimiste a enfermé un végétal entier sous une cloche d'où l'on avait retiré l'oxygène par le pyro-

(1) Compte-rendu de l'Académie, t. LXIX, p. 466, 1869.

(2) Compte-rendu, t. LXXXVI, p. 49.

gallate de potasse, et a vu par la réaction de l'iode-forme, qu'il s'y était formé de l'alcool.

Un autre végétal, identique, conservé sous une cloche avec de l'air, n'a pas donné trace d'alcool.

M. de Luca a également démontré que le phénomène pouvait se reproduire avec des feuilles placées dans une atmosphère d'acide carbonique.

Nous rappellerons également à ce sujet, les expériences de M. Pasteur faites devant M. Dumas, et les résultats concluants qu'il obtint avec les prunes de Monsieur.

C'est à ce moment qu'il crut pouvoir dire (1).
« Plongées dans l'air, ces cellules vivent sous leur état *aérobie* et ne sont pas des ferments, plongés aussitôt après dans l'acide carbonique, elles vivent sous leur état *anaérobie* et deviennent immédiatement des ferments pour le sucre, avec production de calorique. »

A la suite de cette déclaration M. Fremy, en 1872, reprit la théorie de l'hémiorganisme.

« Pour ne parler que de la fermentation alcoolique, disait-il, j'admets que dans la production du vin c'est le suc même du fruit qui, au contact de l'air, donne naissance aux grains de levûre, par la transformation de la matière albuminoïde ; tandis que M. Pasteur soutient qu'elle a pour origine des germes extérieurs à l'enveloppe des grains » M. Tréculadmet la transformation en bactéries des substances albuminoïdes,

(1) Pasteur. *Etude sur la bière*, p. 264.

opinion basée sur des expériences de M. Donné dans la putréfaction des œufs.

Deux ans plus tard, M. Traube (1), après avoir étudié l'action des milieux privés d'oxygène sur les ferments alcooliques, constate en grande partie la justesse des premières conclusions de M. Pasteur, mais il ajoute : lorsque M. Pasteur dit que la levûre privée d'oxygène peut en prendre au sucre, il se trompe, car son accroissement s'arrête lorsqu'une grande partie du sucre est encore indécomposée. Pour lui, ce serait aux matières albuminoïdes que la levûre prendrait son oxygène en l'absence de l'air. Partant de là, il fait une théorie, appelée théorie hypothétique par M. Pasteur, dans laquelle, il fait remarquer que rien ne s'oppose à ce que le protoplasma des cellules vivantes, soit, ou renferme un ferment chimique produisant la fermentation du sucre. Son efficacité se rattacherait à la présence de la cellule, parce que jusqu'à présent on n'a pu encore l'isoler des cellules sans le décomposer. En présence de l'air, le ferment oxyde le sucre en fixant sur lui l'oxygène d'un groupe d'atomes de la molécule du sucre sur d'autres atomes, en donnant d'un côté un produit de réduction, de l'alcool, et de l'autre un produit d'oxydation, de l'acide carbonique.

D'ailleurs, M. Schützenberger, dans ses travaux sur la respiration de la levûre, a constaté que la quantité d'oxygène absorbée par un gramme de levûre dans

(1) Traube, Soc. chimique de Berlin, t. VII, 1874.

l'unité de temps, à une même température, était constante pour des liquides saturés, sursaturés ou ne contenant que de faibles quantités d'oxygène. Les mêmes lois persistent, lorsque l'expérience se fait dans un milieu sucré et renfermant des matières albuminoïdes et sucrées, mais l'intensité respiratoire s'élève pour le même temps et la même température.

Si donc la décomposition du sucre était la conséquence de la respiration des cellules aux dépens de l'oxygène de ce sucre, comme le veut M. Pasteur, il s'ensuivrait que la fermentation ne devrait pas avoir lieu dans un milieu contenant de l'oxygène dissous et c'est l'inverse qui a lieu. M. Schützenberger ajoute : le pouvoir respiratoire et le pouvoir de ferment sont deux qualités inhérentes à la cellule du saccharomyces, mais indépendantes l'une de l'autre, en ce sens que l'un des phénomènes n'est pas la conséquence de l'autre. Ces deux valeurs ne sont pas, comme le dit M. Pasteur, deux termes variables d'une somme constante, dont l'un est nul quand l'autre atteint son maximum ; au contraire, tous les faits tendent à établir que ces deux valeurs s'affaiblissent ou atteignent leur plus grande valeur en même temps sous l'influence des mêmes causes.

M. Pasteur généralise alors sa théorie et dit : « L'être aérobique fait la chaleur dont il a besoin, par la combustion résultant de l'absorption du gaz oxygène libre ; l'être anaérobique fait la chaleur dont il a besoin en décomposant une matière dite fermentescible, de l'ordre des substances explosibles susceptibles de dégager

de la chaleur par leur décomposition. A l'état libre, l'être anaérobie est souvent si avide d'oxygène que le simple contact de l'air le brûle et le détruit, et c'est dans cette affinité pour l'oxygène que doit résider sans doute le premier principe d'action de l'organisme microscopique sur la matière fermentescible. Avant de pouvoir donner de la chaleur par leur décomposition il faut bien que ces matières soient provoquées à se décomposer. »

Cette doctrine ne repose sur aucun fait positif. M. Berthelot (1) constate que les fermentations produisent de la chaleur. Mais il se demande s'il est utile et nécessaire que la levûre en prenne une certaine quantité pour se développer et former aux dépens du sucre les matériaux dont elle se compose.

Or, la levûre se compose de trois groupes de principes, et d'après le calcul des calories développées par le sucre se changeant en cellulose, matières grasses et albuminoïdes, on peut conclure et regarder comme peu probable le concours d'une énergie étrangère pour le développement de cette levûre.

Le calcul des calories ne semble pas complet à M. Pasteur, il lui paraît ne renfermer que la chaleur dépensée pour constituer le cadavre de la cellule et laisser de côté l'énergie dépensée pendant la vie.

Si maintenant nous parcourons les œuvres posthumes de Cl. Bernard, ses expériences faites à Saint-Julien, nous voyons la question de la fermentation entrer dans une phase nouvelle, et nous lisons :

(1) Comptes-rendus, t. LXXXII, p. 197.

La théorie de la fermentation alcoolique est détruite :

1° *Ce n'est pas la vie sans air.* Car à l'air comme à l'abri de son contact, l'alcool se forme sans levûre ;

2° *Le ferment ne provient pas de germes extérieurs.* Car dans les jus aplasmiques ou inféconds — verjus et jus pourris — le ferment ne se développe pas quoiqu'ils soient sucrés. Si l'on y ajoute des ferments, ils fermentent ;

3° *L'alcool se forme sous l'influence d'un ferment soluble en dehors de la vie, dans les fruits mûrissants.* — Il y a alors décomposition du fruit et non synthèse biosique de levûre ou de végétation. L'air est absolument nécessaire pour cette décomposition alcoolique ;

4° *Le ferment soluble se trouve dans le jus retiré des fruits, jus pourris.* — L'alcool continue à s'y former et à augmenter. Avec l'infusion de levûre ancienne cette démonstration devient encore plus facile ;

5° Il y a dans la fermentation deux états à étudier :

Décomposition ; synthèse morphologique.

M. Pasteur (1), au sujet de cette note, reprend cette citation de Cl. Bernard, qu'il y a nécessairement dans l'être vivant deux sortes de phénomènes, et dit : « Pour Cl. Bernard, les synthèses organiques procèdent de phénomènes autres que ceux des destructions organiques, parce que le même mécanisme ne

(1) *Compte-rendu*, t. LXXXVII, p. 813.

saurait à la fois édifier et détruire. Pour concilier les faits par lui observés, Bernard, fait encore une hypothèse, celle de l'existence d'un ferment alcoolique soluble, sauvant le système. Car ce n'est plus la vie, la nutrition dans des conditions particulières qui fait la fermentation, c'est un intermédiaire, c'est le ferment soluble qui agit à la manière d'un phénomène chimique. Les phénomènes des destructions organiques deviendraient identiques, qu'ils proviennent du fonctionnement vital ou qu'ils soient produits par le cadavre après la mort. Le ferment alcoolique soluble, existant par hypothèse dans la levûre en action, c'est-à-dire pendant le fonctionnement vital, peut donc être recherché avec succès dans le grain de raisin qui pourrit, et qui n'est autre que le cadavre du grain. »

Il s'élève encore contre cette phrase de Bernard : « La pourriture est une maturité avancée. » Il rappelle qu'un grain de raisin peut se conserver des siècles, si on le place dans de l'air privé de germes. Il combat la division en jus plasmiques ou féconds et jus aplasmiques ou inféconds, et dans le but de la renverser il fait les expériences suivantes.

1° Dans des serres, il enferme quelques pieds de vigne, dont les raisins verts sont privés de germes, quelques grappes de ces pieds sont, par surcroît de précautions, enveloppées de coton, porté à une température de 130 à 200°. Aucun de ces raisins écrasés après maturité ne fermente spontanément.

2° Ces mêmes raisins exposés quelque temps à l'air sur les branches d'un autre cep fermentent spontanément.

3° Les jus des raisins de serres abandonnés pendant longtemps n'ont pas vu leur teneur en alcool augmenter.

Il croit pouvoir en conclure que lorsque Cl. Bernard a observé une augmentation dans la quantité d'alcool, c'est que les expériences n'avaient pas été faites avec toute la rigueur possible.

Mais M. Berthelot (1) ne pense pas que ce soit ainsi que la question puisse se résoudre. Il s'agirait de savoir, si le changement chimique produit dans toute fermentation, ne résulterait pas d'une réaction fondamentale provoquée par un principe défini, spécial, de l'ordre des ferments solubles, lequel se consumerait au fur et à mesure de sa production, en se transformant chimiquement pendant l'accomplissement même du travail qu'il détermine. La fermentation alcoolique serait comme toutes les autres ramenée à des actes purement chimiques.

De plus (2), si la levûre agissait en absorbant de l'oxygène combiné, on devrait trouver dans la liqueur des corps désoxydés, répondant à la formule $C^{12}H^{24}O^{11}$, ou dans les produits de dédoublement, de l'oxyde de carbone et C^2H^6 . Au lieu de cela, on ne rencontre que les produits représentant presque rigoureusement par leur réunion le poids du sucre. En général « c'est

(1) *Compte-rendu*, t. LXXXVII, p. 949.

(2) *Ibidem*.

une tendance à la science, dit-il, de réduire l'action des ferments à des conditions purement chimiques, c'est-à-dire relativement simples, mais indépendantes de la vie qui répond à un ensemble de phénomènes plus complexes. » L'action du ferment consisterait alors à dédoubler le sucre en deux produits, l'un plus oxygéné; l'autre plus hydrogéné,— comme la potasse avec les aldéhydes. Ces deux produits exerceraient ensuite une action réciproque, sans que l'énergie commencée dans le premier dédoublement puisse être reproduite. On ne saurait donc régénérer le sucre primitif. Dès lors, en son lieu et place, apparaîtraient les produits d'une décomposition nouvelle, plus profonde, tels que l'alcool et l'acide carbonique.

Il se pourrait ce que l'on constate lorsque dans de l'eau acidulée on plonge les deux électrodes en mousse de platine d'une pile de 5 ou 6 éléments, munie d'un commutateur. Si on vient à changer le sens du courant 12 à 15 fois par seconde, rien ne se dégage, les deux gaz se recombinent au fur et à mesure de leur décomposition. Cependant, cet appareil placé dans une dissolution de glucose n'a donné que des traces d'alcool, quelques millièmes seulement.

Si la levûre agissait en empruntant de l'oxygène au sucre on devrait pouvoir le prouver par sa richesse en oxygène.

Or, il n'en est rien, la levûre contient :

1°. De la cellulose, qui ne diffère du sucre que par les éléments de l'eau ;

2° Des matières grasses, moins oxygénées que le sucre ;

3° Des principes protéiques, desquels si on retranche l'oxygène à l'état d'eau, l'azote à l'état d'ammoniaque, il reste du carbone et un excès d'hydrogène.

L'oxygène absorbé est rendu en acide carbonique, dit M. Pasteur (1), car pour lui la levûre, vivant à l'air doit absorber de l'oxygène sans cependant pour cela devenir plus oxygénée.

Cette interprétation des faits semble purement hypothétique à M. Berthelot (2), car prétendre que la levûre prend de l'oxygène et rend de l'acide carbonique est une hypothèse. Quand même cela se passerait, en présence de l'oxygène libre, il n'est pas prouvé que les mêmes faits se reproduiraient en présence de l'oxygène combiné, puisque d'après sa composition la levûre semblerait plutôt emprunter de l'hydrogène. De plus les fermentations ne paraissent pas résulter de la présence absolue d'êtres microscopiques, et la coïncidence d'organismes, privés d'oxygène libre et de fermentation n'est pas nécessaire. Ainsi, tous les liquides contenus dans l'épaisseur des tissus végétaux sont privés d'oxygène par suite de la présence de principes immédiats très-oxydables, et comme il est démontré que la levûre accomplit la fermentation en présence de l'oxygène

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVIII, p. 58.

(2) Comptes-rendus, t. LXXXVIII, p. 103.

libre (1), on ne saisit pas pourquoi, pouvant prendre cet oxygène, elle s'empare de l'oxygène combiné, et produit ainsi la fermentation. M. Berthelot comme Cl. Bernard n'admet pas de corrélation chimique entre la vie sans air et la fermentation.

Des expériences récentes de M. Béchamp (2) viennent étayer ce raisonnement et infirmer encore les résultats de M. Pasteur. Ce chimiste a étudié l'influence de l'oxygène sur la fermentation alcoolique.

1° Fermentation faite dans un courant d'oxygène, avec une fermentation témoin sans oxygène.

La quantité d'alcool fournie a été plus grande dans l'essai soumis au courant d'oxygène.

La quantité d'acide acétique paraît dépendre beaucoup plus de la température et de la nature de la levûre que de l'oxygène.

La levûre s'use davantage en présence de l'oxygène.

2° Fermentations dans un courant voltaïque, avec 6 ou 8 éléments Bunsen.

La quantité d'alcool formée est en raison directe de l'intensité du courant au commencement de l'opération, et indirectement proportionnelle à la fin ; ce qui tiendrait probablement à l'épuisement de la levûre.

La quantité d'acide acétique a augmenté. L'oxygène se serait porté :

(1) Les expériences de M. Livache sont contradictoires. Dans une note parue dans les compte-rendus, t. LXXXV, p. 229, il démontre que les gaz contenus dans les fruits présentent la même composition que l'air. Ces recherches ont été faites par la méthode de Schloësing, en remplaçant l'éther par de l'alcool.

(2) Comptes-rendus, t. LXXXVIII, p. 340.

1° Sur l'eau sucrée, — surtout au début — qui devient acide et réduit énergiquement le réactif cuivrique ;

2° Sur la levûre qui peut absorber tout l'oxygène et dégager de l'acide carbonique et de l'hydrogène ;

L'oxygène est donc favorable à la fermentation.

Dans une deuxième série d'expériences, ce même chimiste (1) va plus loin : il démontre que la levûre seule peut donner de l'alcool en présence de l'acide carbonique, d'un courant électrique, et à l'abri complet de l'air, c'est-à-dire de l'oxygène.

1° De la levûre bien lavée, dans de l'eau bouillie, puis soumise à un courant d'acide carbonique, et placée dans une étuve à 30°, a donné :

Après 6 jours, pour 1.100 gr. de levûre (17 % matières sèches).

Alcool absolu	7 ^{cc} .
Acide acétique.	0.306

2° De la levûre égoutée, abandonnée dans de l'eau créosotée, donne pour 100 gr. de levûre sèche :

Alcool absolu.	10 ^{cc} 8
Acide acétique	1.5.

3° De la levûre délayée soumise à un courant de huit couples. Bunsen, après expulsion de l'oxygène par un courant d'acide carbonique, montre du 3° au

(1) Béchamp, Comptes-rendus, t. LXXXVIII, p. 719.

7^e jours une absorption d'oxygène, et un dégagement d'hydrogène et d'azote, et donne pour 100 de matière sèche.

Alcool absolu. . . . 2^{gr} 76

Acide acétique . . . 1,42

En même temps la levûre subit une modification profonde qui n'a aucun rapport avec la putréfaction. Elle se ramollit, convertit son protoplasma et une partie de son contenu, en principes solubles, parmi lesquels M. Béchamp a signalé, la leucine et la tyrosine, une matière albuminoïde soluble, un ferment inversif, une substance gommeuse, des phosphates, de l'acide acétique, de l'alcool et de l'acide carbonique. Schutzenberger (1) y a de plus rencontré de la xanthine de l'hypoxanthine, de la carnine et de la guanine.

Des essais infructueux ont été tentés par Cochin (2) pour retrouver le ferment indiqué par Bernard. Pour y arriver il conviendrait, d'après M. Berthelot, de rechercher le ferment soluble dans les cas identiques à ceux dans lesquels se produisent les ferments de l'économie, c'est-à-dire en présence des aliments qu'ils doivent digérer.

Nous terminerons cet exposé par cette citation de M. Berthelot « rapporter une métamorphose chimique à un acte vital, ce n'est pas l'expliquer.

(1) Comptes-rendus — Résultats, t. LXXXIX, p. 806.

(2) Schutzenberger. *Des fermentations* p. 152.

Au contraire, tous les efforts de la chimie physiologique ont pour but d'analyser les changements naturels qui les produisent dans les êtres vivants, et de les ramener à une succession régulière d'actes chimiques déterminés. Tant que cette analyse exacte n'aura pas été réalisée par la métamorphose du sucre en alcool, la théorie chimique de la fermentation alcoolique ne sera pas faite, et il demeurera conforme à l'esprit de la science moderne de maintenir devant l'esprit des expérimentateurs, les hypothèses multiples que l'on peut imaginer. Cela, — non certes, — comme des vérités acquises, mais à titre de suggestions utiles vers des expériences originales destinées à découvrir la véritable explication. (1) »

CONDITIONS QUI FAVORISENT OU EMPÊCHENT LA
FERMENTATION ALCOOLIQUE

Multiple ou non, le ferment exige toujours, pour agir, la réunion de plusieurs conditions physiques et chimiques. La plupart d'entre elles, nous les avons étudiées, mais d'autres encore ont une importance telle, qu'il est nécessaire de s'y arrêter un instant.

Une température élevée influe sur le ferment d'une manière considérable ; le froid ne fait qu'enrayer son action. Wiesner a vu la levûre résister à 0°, et même à un degré inférieur. Une température de + 100° suffit pour l'arrêter, tandis qu'on serait arrivé, paraît-il, à

(1) Comptes-rendus, t. LXXXIX, p. 786.

lui faire supporter une température de -100° (froid produit par l'acide carbonique et l'éther), sans réussir à la tuer.

Tous les agents, qui coagulent les albuminoïdes ou détruisent les matières organiques s'opposent à la fermentation. L'électricité ne paraît pas l'influencer; l'obscurité, le vide sec la ralentissent. Un trop grand excès de sucre en solution lui est défavorable. D'après Wiesner, 35 0/0 de sucre la rendrait incomplète. Ce savant a de plus démontré que pour obtenir une bonne fermentation il fallait des solutions sucrées comprises entre 20 ou 25 0/0 et 2 ou 4 0/0. Elle se trouve bien d'une acidité légère, mais s'arrête, ainsi que l'a démontré M. Dumas, lorsque le poids de l'acide atteint cent fois le poids de celui que contient normalement la levûre. Les liqueurs alcooliques, comme les substances neutres insolubles en excès, — sulfate de soude, chlorure de sodium, glycérine, — sont défavorables. Mandt (1) attribue le phénomène au grand pouvoir osmotique de ces corps qui arrêteraient le développement des êtres organisés. L'oxyde de mercure, le calomel, le peroxyde de manganèse entravent la fermentation; il en serait de même des bisulfites, sulfites, des essences de citron, de térébenthine, etc.

D'après Dœbreiner, elle s'arrêterait à 28 atmosphères, et pour terminer, nous rapporterons les expériences de P. Bert et Bouchardat, qui démontrent que l'oxygène comprimé, comme les vapeurs de chloroforme

(1) Mandt. *Répertoire de Chimie appliquée*, t. 11, p. 126. 1860.

et d'éther, endort la levûre, lui enlève son pouvoir de ferment et lui laisse la faculté d'intervertir le sucre. « Les propriétés d'essence vitale disparaissent, « celles d'essence chimique persistent. »

FERMENTATION ALCOOLIQUE PROVOQUÉE PAR DES
FERMENTS AUTRES QUE LA LEVURE

En dehors de la levûre, et nous en avons cité de nombreux cas, la fermentation alcoolique peut encore se produire sous des influences diverses.

M. Gayon (1), après M. Béchamp, a constaté que les moisissures ont la propriété d'intervertir le sucre. Il a remarqué que le *penicillium glaucum*, l'*aspergillus niger* transformaient aussi le sucre de canne, tandis que le *mucor mucedo*, le *mucor circinelloides*, le *mucor spinosus*, le *rhizopus nigricans*, étaient sans action sur lui.

Ce changement opéré, quelques-unes des moisissures vont provoquer la fermentation alcoolique : les *mucor spinosus*, *circinelloides* sont dans ce cas. Si ces moisissures vivent sans oxygène dans un liquide fermentescible, elles donnent naissance à de véritables cellules de ferment, qui se reproduisent sous la même forme, tant qu'il n'y a pas d'oxygène. Le liquide devient-il aéré, elles reforment le mycelium normal. Les produits de fermentation sont les mêmes que dans les cas précédents. Cette transformation de

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 52.

moisissures en ferment est admise par presque tous les auteurs : Trecul, Wagner, Hoffana et MM. Robin et Pouchet.

Dans les fermentations lactique et butyrique, M. Béchamp (1) a remarqué que les microzymas de la craie, comme il les appelle, produisent de l'alcool, lequel se transforme plus tard en acides de la série grasse; il s'en formerait également dans la fermentation ammoniacale de l'urine.

Certaines moisissures, jetées dans une solution d'acétate de soude, ou d'oxalate d'ammoniaque, rendent de l'alcool.

Bien plus, des ferments bien lavés, placés dans de l'eau créosotée, donnent comme produits nouveaux de l'acide carbonique, de l'hydrogène, un sucre interverti, de l'acide acétique, butyrique et de l'alcool (jusqu'à 2 0/0 du sucre).

Les dépôts de vins vieux, — vin de Tavel de 1858 examiné en 1868, — intervertissent le sucre de canne et sont des ferments alcooliques très-énergiques.

En 1873, M. Fitz (2), a publié sur la fermentation alcoolique produite par le *mucor racemosus*, un mémoire dans lequel il a constaté que la proportion d'alcool obtenue par ce procédé était un peu plus faible qu'avec la levûre, mais que les produits de distillation contenaient de l'aldéhyde. En même temps les

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 355.

(2) Schützenberger. *Des fermentations*, 1876.

résidus renfermaient de l'acide succinique avec des traces douteuses de glycérine. Cette fermentation s'arrête d'ailleurs assez vite, et laisse en général la moitié du sucre intacte. Ces moisissures n'auraient pas la propriété de faire fermenter la dextrine, l'inuline et le sucre de lait.

Le *mycoderma vini* peut également jouer le rôle de ferment alcoolique lorsqu'il est immergé dans un milieu sucré, et, chose remarquable, contraire à la théorie de M. Pasteur, le mycorderme ou mieux le saccharomyces mycorderma submergé ne se reproduit pas.

Fermentation de la Glycérine. — M. Fitz (1), dans un travail publié en 1878, rapporte que si dans une solution de glycérine à 5 0/0 on vient à semer un champignon du genre *schizomicete*, non encore étudié, il se dégage, après deux jours d'exposition à la température de 40°, une grande quantité d'acide carbonique mélangé d'hydrogène. Au bout de 10 jours la fermentation est terminée, et on trouve dans le liquide des acides butyrique et caproïque, de l'alcool éthylique et une certaine quantité d'alcool butylique qui, par oxydation, a fourni de l'acide butyrique.

100 grammes de glycérine ont ainsi donné :

- 1^{er} 3 d'alcool éthylique.
- 7, 7 d'alcool butylique.
- 12, 3 de butyrate calcique anhydre.

(1) Fitz, *Bull. de la Société chimique*, t. XX, p. 472.

Cet expérimentateur a de plus remarqué que le *mucor racemosus* se développe dans les solutions faibles de glycérine, mais aux dépens de celle-ci, qu'il consomme entièrement sans donner de produit volatil. Les solutions sont-elles riches en glycérine, il se produit une certaine quantité d'alcool ; le ferment cesse alors d'agir et se métamorphose en spores qui conservent leurs formes aussi longtemps que l'on maintient la composition du mélange. Après avoir enlevé l'alcool par distillation, vient-on à restituer les spores au liquide refroidi, on les voit se reproduire par scission et donner la plante primitive qui détermine alors une fermentation nouvelle.

Fermentation de la mannite. — Toujours d'après M. Fitz, la mannite pourrait également fermenter et donner des alcools éthylique, butylique, une petite quantité d'alcools supérieurs, des acides volatils, de l'acide succinique, et enfin un acide sirupeux.

CHAPITRE II

FERMENTATION ACÉTIQUE.

De temps immémorial on a vu les liquides alcooliques abandonnés à l'air, se transformer, sous certaines influences, en vinaigre, c'est-à-dire engendrer de l'acide acétique, mais toute moderne est l'explication du phénomène.

Cette fermentation prend naissance quand sur l'alcool dilué apparaît un cryptogame spécial, — vulgairement *Fleur de vinaigre*, *Mère de vinaigre*, — *Mycoderma aceti*. Encore appelé *Ulvina aceti* par Kützing, polymorphe, il se présente à nous sous deux aspects principaux.

Sous la *forme membraneuse*, c'est un végétal des plus simples, réunion d'articles légèrement étranglés à leur centre, large de 1,5 millièmes de millimètre et souvent d'une longueur double. Ces sortes de *chapelets* se

développent à la surface du liquide, en affectant une disposition rayonnée.

Une masse tremblotante, capable d'envahir à un moment donné le milieu tout entier, constitue la *forme mucilagineuse*. Là encore, nous constatons des articles étranglés qui, vieillissant, prennent l'aspect d'une membrane homogène. A cette dernière étape, le mycoderma acquiert en poids comme en volume, un développement manifestement supérieur à celui de la première forme.

Ces différents aspects naissent et varient avec les milieux, et le mycoderme peut aller de l'un à l'autre. Ainsi la forme membraneuse, après une culture prolongée dans un milieu acétique, va donner la forme mucilagineuse. Mais si c'est un liquide approprié qu'on ensemence, tout d'abord et toujours, on obtiendra la première forme.

Bien que ce ferment, l'agent d'acétification par excellence, soit resté fort longtemps inconnu, les moyens de fabriquer le vinaigre ne manquaient pas; alcool et copeaux de hêtre, ou mère de vinaigre avec alcool étendu, suivant les contrées, en donnaient couramment.

Mais comment? mais pourquoi l'alcool perdait-il de l'hydrogène et prenait-il de l'oxygène pour se transformer en acide acétique? suivant l'équation :



on l'ignorait.

On savait cependant que l'exposition de l'alcool à l'air, même un temps très-long, ne suffisait pas à donner naissance au phénomène.

Lorsque Davy, vient en 1821, démontrer que du platine pulvérulent, du noir de platine, transforme par sa présence l'alcool en acide acétique, immédiatement on veut voir une corrélation entre cette action et celle des copeaux de hêtre, dans le procédé allemand.

Suffisante peut-être, pour le cas particulier, cette manière de voir s'accordait difficilement avec le procédé dit d'Orléans. Là, en effet, les vinaigriers n'employaient pas les copeaux, mais la *Mère de vinaigre*, dont ils avaient grand soin et qu'ils déposaient à la surface du liquide préparé pour l'acétification. Cette semence se développait, soulevait une mousse épaisse qui, de rouge devenue blanche, indiquait par là la fin de la réaction.

C'est alors que Liebig généralise sa *Théorie catalytique*, jugée insuffisante, et dit : « Les matières organiques, mortes ou vivantes, au contact de l'alcool du vin, possèdent, après avoir absorbé de l'oxygène, la propriété d'oxyder à la température ordinaire d'autres substances organiques ou non ». La production d'acide acétique était donc, à son dire, déterminée par un mouvement communiqué par des principes en voie de décomposition, ébranlement qui provoquait leur oxydation. De cette façon, il embrassait et assimilait, et l'action des copeaux de hêtre, — organisme sans vie — et celle du mycoderme, — organisme vivant.

Mais là encore, M. Pasteur devait avoir le dernier mot. Mettant à néant la théorie de Liebig, il démontre expérimentalement que l'acétification est la conséquence de l'action seule du *mycoderma aceti*, toujours présent, toujours flottant à la surface du liquide où l'acide acétique est naissant. Les copeaux de hêtre n'agissent pas en vertu de leur porosité, comme on l'a déduit d'une observation incomplète, mais grâce à la mince pellicule de mycoderme qui garnit leur surface. En favorisant les contacts multipliés, incessants, avec l'oxygène de l'air, ils aident, néanmoins, puissamment à l'intensité du phénomène.

A l'appui de ses dires, M. Pasteur cite, entre autres, l'expérience suivante : Il fait couler de l'alcool étendu, avec beaucoup de lenteur, le long de ficelles tendues verticalement, et cherche vainement dans le liquide recueilli des traces d'acide acétique. Mais s'il trempe tout d'abord les ficelles dans une mère de vinaigre, l'acétification débute et marche rapidement.

M. Mayer exécute ainsi la contre épreuve : Il fait bouillir une feuille de papier dans de l'acide chlorhydrique à 5 0/0, puis dans une solution de potasse caustique au même titre, la lave avec soin et la couche à la surface d'une solution alcoolique faible. Après un mois d'exposition, il ne peut constater dans le liquide la moindre trace d'acide acétique.

Dans un entonnoir garni de ce papier et de poudre de verre, il laisse couler lentement, comme à travers un filtre, de l'alcool à 9 0/0, et dans le liquide écoulé même résultat négatif.

C'est donc le mycoderme qui produit l'acétification. C'est lui qui, à la surface du liquide, absorbe l'oxygène de l'air et le fixe sur l'alcool, développant ainsi une oxydation parfois très-énergique, comme l'indique l'abondant dégagement de vapeur d'eau dont elle s'accompagne. L'élévation de la température est souvent telle qu'on la peut apprécier à la main ; dans certaines circonstances elle est même capable de tuer le ferment.

Voici le mécanisme de la fermentation démontré, mais l'explication manque encore. Pour M. Pasteur (1) : « Ce végétal microscopique, *mycoderma aceti*, a la propriété de condenser l'oxygène à la façon même du noir de platine ou des globules du sang, et de porter cet oxygène sur les matières sous-jacentes. »

C'est, on le voit, la théorie de Liebig, à cela près que les phénomènes d'oxydation sont pour le chimiste allemand déterminés par des organismes morts, tandis que M. Pasteur les croit dus aux organismes vivants. Aucune de ces explications, d'ailleurs, ne paraît suffisante, et, dans les lignes ci-dessus rapportées, nous pouvons relever quelques invraisemblances.

Tout d'abord, M. Pasteur dit : « Le mycoderme a la propriété de condenser l'oxygène comme le globule sanguin » ; or, nous savons que l'oxygène n'est pas condensé par le globule sanguin mais bien combiné avec l'hémoglobine. En second lieu, les expériences

(1) Schützenberger. *Des fermentations*, p. 200.

de M. Mayer tendent à prouver que l'oxydation par le mycoderme est un phénomène biologique spécial, qui ne peut être attribué uniquement à l'état physique de la plante-ferment.

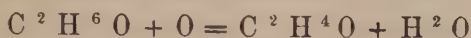
Il suffit, en effet, de chauffer un liquide en voie d'acétification pour arrêter de suite toute oxydation ; or, dans ces conditions l'état physique n'a pas sensiblement changé.

De plus, le noir de platine n'agit pas comme le mycoderme ; la mousse de platine a son maximum d'action au-dessus de 35°, tandis qu'il est pour le mycoderme, compris entre 20 et 30°. Au-dessous de 10° et au-dessus de 35° son action est nulle. La mousse de platine peut encore oxyder de l'alcool concentré ; or, le mycoderme, et nous y reviendrons tout à l'heure, ne peut se développer dans un milieu contenant plus de 10 0/0 d'alcool.

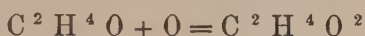
Quoi qu'il en soit, le mycoderme est doué d'une activité considérable. D'après un calcul de M. Pasteur, une pellicule pesant, sèche, un centigramme, aurait servi de véhicule à cent trente fois son poids d'oxygène, et encore serait-ce là un minimum.

Ce ferment acétique semble avoir pour l'alcool un penchant marqué, c'est son aliment de prédilection. Si l'on expose à l'air une solution filtrée de levûre, additionnée de 3 à 4 0/0 d'alcool et de 1 à 2 0/0 d'acide acétique, on la voit bientôt se recouvrir d'un voile de mycodermes acétiques, qui s'y développent de préférence à tout autre, et de suite entraînent l'acéti-

fication. Son action oxydante n'est pas complète au début, il forme de l'aldéhyde :



puis cet aldéhyde, grâce à l'oxygène que lui cède le mycoderme, se change en acide acétique :



En même temps, on constate l'apparition de produits étherés à odeurs agréables, qui pourront être brûlés plus tard avec l'aldéhyde restant, si le mycoderme vient à manquer d'alcool. Ces aliments consommés, brûlés, il poursuivra son action oxydante sur l'acide acétique lui-même. Il lui donnera de l'oxygène et le transformera en eau et en acide carbonique :



Cette décomposition se continuerait jusqu'à ce que la liqueur d'acide soit devenue neutre ; elle cesserait avec une addition d'alcool, pour faire place aussitôt à une acétification nouvelle.

Mais il peut arriver que le mycoderme, au lieu de vinaigre, fournisse des produits capables de déterminer la suffocation et le larmolement. Ces principes, identiques à ceux que le noir de platine peut donner dans certaines conditions, sont encore peu connus ; l'aldéhyde, terme d'oxydation intermédiaire entre

l'alcool et l'acide acétique, paraît y dominer. Le mycoderme se serait donc arrêté en chemin, probablement sous une influence morbide, car ces faits coïncident presque toujours avec une altération du voile mycodermique. Devenu opaque, blafard, il perd sa consistance, et tend continuellement à tomber par lambeaux au fond du liquide.

Ces altérations, d'ailleurs, on les détermine à volonté, en ajoutant au liquide en voie d'acétification, soit de l'alcool concentré, soit quelques gouttes d'esprit de bois.

Les additions brusques de liquide et, en général, toutes les causes susceptibles de submerger le voile mycodermique, peuvent arrêter l'acétification. Les anguillules et congénères développées au sein de la fermentation, s'insurgent contre ce voile qui les prive d'oxygène : réunies en pelotons, elles le battent en brèche, comme à coups de bélier, le perforent, l'émiettent et réussissent parfois à le couler à fond.

Les agents antiseptiques, non contents d'engourdir le mycoderme, s'opposent à toute fermentation. L'acide sulfureux est de ce nombre ; l'usage de mèches soufrées pour flamber les tonneaux, s'explique dès lors de soi-même.

FERMENTS QUI PEUVENT ENCORE DÉTERMINER L'ACÉTIFICATION

A l'exemple du *mycoderma aceti*, le *mycoderma vini* peut, lui aussi, mais dans des conditions spéciales,

transformer l'alcool en vinaigre. Ce ferment nous l'avons vu se développer le plus souvent à la surface des liquides alcooliques, des vins non acides, et dans ce cas il peut, comme le ferment acétique, transporter sur l'alcool l'oxygène de l'air mais en donnant des produits d'oxydation plus complets :



de l'acide carbonique et de l'eau. Immergé, il donne naissance à la fermentation alcoolique, mais laissé à la surface d'une solution alcoolique privée de phosphate et de matières albuminoïdes, par suite dépourvu d'aliments, il produit presque aussitôt la fermentation acétique. La preuve en est dans l'acidité qui ne tarde pas à augmenter dans la liqueur. A vrai dire, l'effet produit est dû souvent au développement subséquent du *mycoderma aceti*, qui se plaît et vit mieux dans le milieu acide, et qui peut même grandir à ses dépens.

Le *mycoderma vini* se retrouve encore quoique en moins grande proportion que celui du vinaigre, dans la maladie des vins désignée sous le nom d'acescence.

Dans les vins tournés, ou qui ont la pousse, M. Pasteur a rencontré, à côté des globules du moût de raisins des filaments d'une grande ressemblance avec le ferment lactique, sous leur influence il a vu dans les vins tournés la proportion d'acide acétique augmenter, en même temps qu'il se formait un peu d'acide lactique.

Quant aux autres maladies des vins, maladie de la graisse, — vins filants, vins huileux — maladie de l'amertume, M. Pasteur en a bien étudié les causes ; il met à nu les filaments qui les déterminent, mais il ne donne pas les produits de composition ; en un mot, il ne parle pas du rôle chimique de ces parasites.

SUBSTANCES AUTRES QUE L'ALCOOL QUI PEUVENT
PAR FERMENTATION DONNER DE L'ACIDE ACÉTIQUE

M. Blondeau (1) a rapporté ce fait curieux que le sucre pouvait s'acétifier directement en présence de la mère de vinaigre, sans passer à l'état d'alcool.

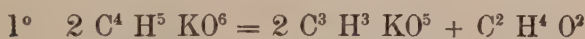
M. Arm. Gauthier (2) a observé en 1870 et 1875, une maladie nouvelle sur les vins français de la région méditerranéenne. Jusque là confondue avec la tourne ou pousse des vins du centre, elle se développe surtout après les automnes chauds et pluvieux, lorsque les moisissures envahissent partiellement la grappe.

En examinant ces vins il s'est aperçu que certains de leurs éléments, l'alcool par exemple, n'avaient pas sensiblement varié ; tandis que le tannin, la matière colorante, le tartre, entre autres, étaient entièrement modifiés ou bien disparus. Après avoir constaté l'absence de la crème de tartre, ce savant a trouvé que ces vins contenaient par litre 2,04 grammes d'acide

(1) Comptes-rendus, t. LXII, p. 953.

(2) A. Gauthier. Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 1338.

acétique. Or, dans les vins français, l'acidité due aux acides volatils, varie de 0,2 à 0,45 grammes par litre, calculée en acide acétique. Parmi les produits non volatils il a rencontré par des traitements appropriés, des cristaux ayant toutes les propriétés de l'acide tartronique, et en même temps environ 1,006 grammes d'acide lactique, calculé en lactate de zinc. Cet acide lactique peut provenir, comme l'acide acétique, de la décomposition de l'acide tartrique d'après les équations suivantes :



Crème de tartre.

Tartronate de potasse.

A. acétique.



A. tartrique.

A. tartronique.

A. lactique.

Cette maladie des vins ne doit pas être confondue avec celle qu'a décrite M. Balard (1) et qui serait déterminée par la présence d'un filament, analogue au ferment de la tourne, décrit par M. Pasteur. Ces filaments ternes, flexibles, ne paraissant pas articulés, sont de largeur variable mais ne dépassent jamais en diamètre 1 à 1,5 millièmes de millimètre.

FERMENTATION SUCCINIQUE

L'asparagine, l'acide malique, les acides maleique, fumarique, aconitique, aspartique, placés dans des

(1) Balard. Comptes-rendus, t. LII, p. 1226.

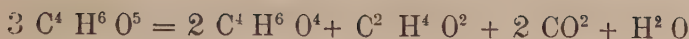
conditions convenables, peuvent subir une fermentation spéciale qui les transforme en acide succinique. C'est M. Piria qui le premier observa que le jus de fèves, abandonné à lui-même, fermente peu à peu et donne du succinate d'ammoniaque, tandis que l'asparagine disparaît. Le liquide se recouvre alors d'une pellicule blanchâtre, mucilagineuse, renfermant un grand nombre d'infusoires, en même temps qu'il acquiert l'odeur des substances animales en putréfaction.

D'après cet auteur on peut provoquer la fermentation d'une solution d'asparagine pure en y transportant les infusoires d'une vieille fermentation.

M. Miquel (1) a reconnu que le petit infusoire jusqu'alors méconnu, l'agent actif du dédoublement de l'asparagine appartenait au genre *bacterium*. Il l'a nommé *bactérie commune*, parce qu'il est présent dans les eaux les plus diverses, même dans l'eau de pluie.

Selon lui, si l'on ensemence la bactérie commune dans une solution minérale d'asparagine, maintenue entre 30° et 36°, après 12 heures la liqueur est trouble et la fermentation est achevée 8 à 10 jours après. L'asparagine a complètement disparu ; il se dégage de l'hydrogène, de l'acide carbonique, en même temps qu'il se forme de l'acide succinique et de l'acide acétique. Cette fermentation peut se représenter par l'équation suivante :

(1) Miquel. *Bul. de la soc. chimique*, 5 fév. 1879.



Acide malique, A. succinique. A. acétique.

ou d'après M. Monoyer :



Cette réaction peut ainsi se diviser en deux parties dans la première, il y aurait oxydation de l'acide malique, oxydation d'une seconde molécule aux dépens d'une autre, formation d'acide succinique et d'acide tartrique.



et dans la seconde, une fermentation acétique de l'acide tartrique.

En dehors de ces produits de décomposition, M. Miquel signale la formation d'une substance muqueuse en faible quantité, il est vrai.

Ces transformations opérées, le ferment se précipite au fond de l'eau, le liquide jaune se clarifie, et devient fluorescent ; son odeur, légèrement ammoniacale, ne posséderait pas, comme l'a dit Piria, l'odeur des substances animales putréfiées. Ce cas tout spécial peut cependant se produire lorsque le ferment ajouté n'est pas pur ; les vibrions introduits s'attaquent alors au mucus sécrété par la bactérie, l'anéantissent complètement en chargeant le liquide fermenté de produits fétides.

Bien plus, ce produit de sécrétion, ce mucus, ne serait pas étranger au dédoublement de l'asparagine.

La bactérie,ensemencée dans une solution d'asparagine, doit pour se développer être constamment balayée par un courant d'air ; l'acide carbonique arrête et suspend la fermentation. Il y aurait entre elle et le *mycoderma aceti* de M. Pasteur une similitude d'action ; comme lui, elle peut absorber l'oxygène de l'air et le transporter au sein de la liqueur qui doit fermenter,

C'est pour cette raison que nous avons placé l'étude de cette fermentation immédiatement après celle de la fermentation acétique. Nous insisterons aussi, bien que ce ne soit pas encore très-bien démontré par l'auteur M. Miquel, sur la possibilité de voir dans le produit de sécrétion de la bactérie commune l'agent actif de la fermentation succinique.

FERMENTATION MUCIQUE

Il est probable également, que la fermentation mucique, qui a toujours été rattachée à la fermentation succinique et butyrique, se produit dans des conditions identiques à celles que nous venons d'étudier.

Depuis longtemps d'ailleurs rien n'a été publié sur ce sujet : quoiqu'il en soit, comme parmi les produits de dédoublement se trouve de l'acide acétique, nous

donnerons ici la réaction par laquelle on explique la fermentation mucique.

Sous l'influence d'un vibrion non étudié, l'acide mucique subit la fermentation acétique.



Cette équation, comme celle donnée par M. Monoyer pour expliquer le dédoublement de l'acide malique en acide succinique et acide acétique, donne de l'hydrogène. Si l'on se rappelle surtout la manière dont Piria provoquait ces fermentations, on pourrait attribuer ce dégagement à une fermentation accessoire, analogue à la fermentation butyrique, et qui pourrait être évitée en suivant avec soin le procédé décrit par M. Miquel (1).

(1) Miquel, loco citato.

CHAPITRE III.

FERMENTATION NITRIQUE

Il n'y a pas longtemps que la science est fixée sur les causes de la nitrification.

Certaines conditions du phénomène avaient été bien étudiées mais son mécanisme restait ignoré.

Une expérience de Kuhlmann, dans laquelle il produisait de l'acide nitrique en faisant passer du gaz ammoniac et de l'air sur de la mousse de platine chauffée à 300° , suscita la première théorie de la nitrification, théorie qui est restée en honneur jusqu'en 1877.

L'expérience de Kuhlmann, disait-on, se trouvait reproduite exactement dans la nature :

Les matières organiques azotées fournissent l'ammoniaque, l'air se trouve partout, et la terre, ou suivant les cas, les plâtres sont des corps poreux qui

jouent dans la nitrification naturelle le même rôle que la mousse de platine dans l'expérience ci-dessus.

Sans nous arrêter plus longtemps rappelons que, dès 1862, M. Pasteur avait signalé l'analogie qui existe entre l'acétification et la nitrification et émis l'idée que le second de ces phénomènes était probablement comme le premier dû à l'action des ferments figurés.

Partant de cette idée, MM. Schloësing et Müntz (1) se sont livrés à de très-ingénieuses recherches dont le résultat a été de faire classer définitivement la nitrification dans le cadre des phénomènes de fermentation.

Pour pouvoir étudier le ferment nitrique, MM. Schloësing et Müntzensemencent avec du terreau de l'eau d'égoût préalablement stérilisée. La fermentation nitrique s'étant développée, on se sert d'une goutte du liquide pour ensemençer une nouvelle quantité d'eau d'égout stérilisée.

En recommençant plusieurs fois cette opération, on arrive à obtenir une fermentation nitrique dans laquelle le microscope ne décèle la présence que du seul ferment nitrique, en l'absence de tout autre microorganisme.

Ce ferment se présente sous la forme de corpuscules légèrement allongés, offrant une grande analogie d'aspect avec les organismes que M. Pasteur désigne sous le nom de corpuscules brillants, et qu'il

(1) Comptes rendus, t. LXXXIV, p. 30. — t. LXXXVI, p. 892. — t. LXXXIX, p. 891 et 1074.

regarde comme les germes de bactéries. On le voit fréquemment sous la forme de globules accolés deux par deux : il offre alors quelque analogie avec la levûre acétique. Il paraît se multiplier par bourgeonnement. On le trouve en grande quantité dans la terre végétale ; il existe dans les eaux d'égout, et en général dans les eaux contenant des matières organiques. Assez rare dans les eaux courantes, on en constate la présence dans la vase du fond des rivières. Dans les expériences de laboratoire on peut le faire vivre aux dépens des substances carbonées les plus diverses, sucre, glycérine, alcool, acide tartrique, etc.

MM. Schlœsing et Müntz ne l'ont jamais rencontré dans l'air ; ils n'ont pu ensemer une solution stérile avec la poussière retirée de plusieurs mètres cubes d'air. Cette absence du ferment nitrique dans l'atmosphère peut s'expliquer par l'influence mortelle qu'exerce sur lui la dessiccation.

Du terreau, siège d'une nitrification énergique devient en effet absolument stérile après avoir été desséché. Dans le sol, la nitrification est d'autant plus active que l'humidité est plus grande, à condition, toutefois, que la terre ne soit pas noyée et que l'air puisse circuler librement entre ses particules ; mais lorsque ce point est dépassé, la nitrification est ralentie ou même arrêtée complètement.

C'est qu'en effet l'oxygène est indispensable à la vie du microbe producteur du nitre, et on avait remarqué depuis longtemps sans l'expliquer, que les terres légères où l'air peut circuler facilement sont

les plus favorables à la nitrification. Dans un liquide on accélérera beaucoup le phénomène par un courant d'oxygène.

La chaleur exerce sur la fermentation nitrique une influence identique à celle qu'elle exerce sur les fermentations en général.

La nitrification ne devient appréciable que vers 12°, son énergie croît rapidement avec la température de manière à atteindre son maximum à 37°. Toutes choses égales d'ailleurs, on peut obtenir en se plaçant dans des conditions convenables dix fois plus de nitre à 37° qu'à 14°. A partir de 37° il y a une décroissance rapide. Au-delà de 55° il n'y a plus trace de nitrification. Enfin à 90° le ferment est tué.

La lumière exerce aussi une influence notable sur le phénomène : la nitrification se produit avec une intensité très-grande à l'obscurité et dans les lieux faiblement éclairés. Mais à la lumière plus vive, il y a comme le fait remarquer M. Warington un ralentissement notable.

Dans le sol où les parties superficielles seules sont exposées à la lumière, cette influence ne saurait être considérable.

Une faible alcalinité des milieux est nécessaire à la production du nitre. Dans la nature c'est généralement le carbonate de chaux qui joue le rôle d'alcali. Les carbonates alcalins très-étendus produisent le même résultat ; mais, lorsque leur degré de concentration dépasse deux ou trois millièmes, ils ralentissent ou même arrêtent complètement l'action du

ferment nitrique. Il en est de même de la chaux caustique.

Dès longtemps on avait remarqué que les terrains dans lesquels existent déjà des nitrates sont le siège d'une nitrification plus active. Cela vient uniquement de ce que les terrains qui contiennent le plus de nitrate sont en même temps ceux qui contiennent le plus de ferment nitrique.

Certains organismes inférieurs ont sur la fermentation nitrique une influence digne d'être notée.

Quand MM. Schloesing et Müntz commencèrent leurs recherches sur la nitrification, leur première pensée fut de chercher le ferment nitrique parmi les microorganismes qui jouissent spécialement de la propriété d'oxyder les matières organiques.

Ils semèrent donc sur des liquides appropriés des spores de *penicillium glaucum*, d'*aspergillus niger*, du *mucor mucedo* et *racemosus*, du *mycoderma vini* et *aceti*, et constatèrent que ces différents microbes ne possèdent aucunement la propriété de transformer l'azote ammoniacal en azote nitrique.

Bien plus, ces différentes moisissures ont la faculté singulière de transformer l'azote ammoniacal et même l'azote nitrique en azote organique, et si dans la solution où elles végètent, il y a un mélange d'azote ammoniacal et d'azote nitrique, le premier est le plus vite absorbé.

Si on laisse fructifier les mycelium, il peut même arriver qu'une partie de l'azote organique soit dégagé à l'état libre.

La présence de moisissures dans une nitrière est donc un fait fâcheux.

Quand dans une fermentation nitrique, la température est inférieure à 20° et l'accès de l'air limité, l'oxydation de l'azote peut n'être pas complète et il peut se former des nitrites, dont le colonel Chabrier a constaté la présence dans les eaux et quelquefois dans le sol.

C'est surtout dans les milieux liquides que ce phénomène se produit.

Tels sont les faits actuellement connus sur la fermentation nitrique. Ils ont été tous publiés par MM. Schlœsing et Müntz.

Nul doute que ces travaux n'ouvrent un jour une nouvelle voie, féconde en progrès, à l'industrie des nitrières artificielles, tout comme les remarquables études de M. Pasteur sur l'acétification ont amené une révolution dans l'industrie du vinaigre.

CHAPITRE IV

FERMENTATION GALLIQUE

On entend par fermentation gallique la transformation, le dédoublement du tannin en acide gallique et en glucose avec fixation des éléments de l'eau. Cette fermentation est produite par deux champignons le *Penicillium glaucum* et l'*Aspergillus niger*. Ce dernier est caractérisé par des spores hérissées et noires qui conservent cette coloration dans les milieux les plus divers. Les cellules constitutives du mycelium ont une odeur musquée et sont remplies de protoplasma transparent, creusé de larges vacuoles. En se développant ces flocons se rejoignent, s'enchevêtrent et finissent par former une masse assez irrégulière qui continue à s'accroître sur sa périphérie. C'est alors que la plante immergée et placée dans toutes les conditions de stérilité, ne respirant que l'oxygène dissous, agit comme

ferment et dédouble le tannin en acide gallique et en glucose. Dans les conditions normales d'action il est doué d'une énergie beaucoup plus grande que le suivant.

Le *Penicillium glaucum* se présente sous l'aspect de flocons très-denses formés de filaments minces et chatoyants. Outre le pouvoir de transformer le tannin, il possède une propriété curieuse : placé dans une solution à parties égales d'acide tartrique droit et d'acide gauche ; il vit aux dépens du premier et laisse intact le second.

L'étude des produits de fermentation commencée depuis longtemps a été reprise en 1867 par M. Van Tieghem (1). Cet auteur est arrivé aux résultats suivants :

1° La fermentation gallique ne peut s'opérer à l'abri de l'air ;

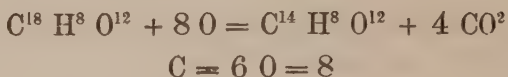
2° Elle ne peut avoir lieu au simple contact de l'air, ce n'est donc pas comme le pensait MM. Pelouze et Liebig une oxydation à l'air ;

3° Elle n'est pas due à un ferment soluble, analogue à la pectase, et ne peut se confondre avec la fermentation pectique, comme le croyaient MM. Robiquet et Laroque, et comme M. Ed. Robiquet avait essayé de le démontrer. Pour celui-ci la pectase préexistait dans la noix de galle, mais était enlevée par le lavage à l'éther dans la préparation du tannin de commerce.

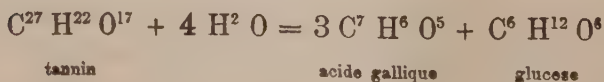
(1) Physiologie des Mucédinées. — *Ann. d. Sciences Naturelles*, 1867, p. 210-245.

Ce même auteur démontre ensuite qu'il suffit à un mycelium de mucédinées de se développer dans une solution tannique pour donner lieu à la fermentation.

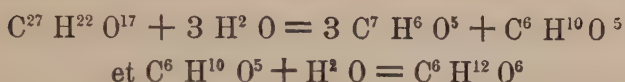
Si l'on vient à laisser quelques spores des champignons, dont nous parlons, dans une solution de tannin, on voit apparaître dans la liqueur de beaux flocons de mycelium ; en même temps le tannin subit une destruction progressive, traduite par de nombreux cristaux d'acide gallique. La transformation est complète en quelques jours. C'est cette décomposition que Pelouze expliquait par l'équation suivante :



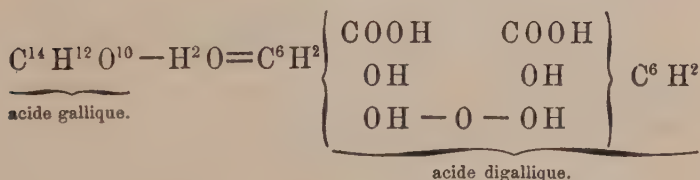
Le tannin en perdant quatre équivalents de carbone, se transforme purement et simplement en acide gallique. Cette manière de voir fut combattue par Chevreul, appuyée par Pelletier, Robiquet et plus encore par Liebig ; mais c'était à Strecker qu'il était réservé d'apporter à cette opinion la sanction expérimentale. Il montra qu'en effet, dans les expériences de Liebig il se produit à la fois de l'acide gallique et du glucose et que le dédoublement du tannin a lieu avec fixation des éléments de l'eau, suivant cette équation :



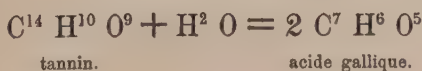
Strecker on le voit considérait le tannin comme un glucoside de l'acide gallique. D'autres auteurs lui ont attribué une constitution semblable à celle de la glucosane ou d'un éther de la glucosane. On obtient alors cette réaction :



Les recherches de Schiff sont cependant contraires à ces deux opinions. Pour ce chimiste, le tannin serait de l'acide digallique $\text{C}^{14} \text{H}^{10} \text{O}^9$, différent de la double formule de l'acide gallique par une molécule d'eau en moins :



Il en résulte que dans la transformation le ferment ne ferait qu'apporter une molécule d'eau à l'acide digallique pour former de l'acide gallique,



La présence du glucose serait due aux impuretés. Cette façon d'envisager les tannins, exacte peut-être pour les tannins ordinaires ne peut s'appliquer aux tannins des plantes ; plusieurs chimistes partagent

d'ailleurs cette manière de voir. Sans aucun doute, en effet, ils renferment du glucose dans leur constitution, que ce glucose soit juxtaposé ou combiné; et c'est pour le cas particulier de la fermentation gallique, la manière de voir que nous adoptons.

Le mycelium, cause de ces décompositions, exige pour se développer et respirer une petite quantité d'oxygène qu'il transforme en un volume égal d'acide carbonique. Vient on à lui interdire rigoureusement l'accès de l'air, son action cesse et la dissolution peut se conserver indéfiniment malgré la présence de spores de mucédinées; vient on à déboucher le flacon, les spores reprennent leur activité, donnent un mycelium floconneux et provoquent alors la transformation corrélative du tannin.

C'est donc l'air qui apporte au tannin les deux principes dont l'action combinée est nécessaire à sa destruction, les spores et l'oxygène, il est à la fois véhicule et aliment. Tout cela cependant n'est pas encore suffisant, car les spores qui vivent dans ce milieu ont besoin pour s'y développer, non-seulement des aliments carbonés fournis par le tannin mais encore des substances azotées et minérales.

Ces principes très-abondants dans l'infusion de noix de galle sont plus rares dans une infusion de tannin du commerce, et, en effet, tandis que ces mucédinées vivent énergiquement dans la première, elles végètent péniblement dans la seconde. Toutefois, grâce aux impuretés que le tannin renferme, la transformation peut avoir lieu au bout d'un certain temps.

Dans une solution aérée de tannin pur, les spores ne se développent pas et le tannin demeure inaltéré.

Dans toutes les expériences qui ont pour but de doser les produits de décomposition fournis par la fermentation gallique, il est à remarquer qu'ils sont toujours inférieurs au rendement théorique. On sait ainsi que 48 gr. 3 de tannin doivent donner 52.35 de résidu solide après l'opération, résidu se décomposant en 38,74 d'acide gallique et 13,61 de glucose. Dans la pratique il n'en est plus de même, et si dans certains cas on arrive au rendement théorique pour l'acide gallique, on est loin de retrouver la totalité de glucose. Ce dernier est donc employé en même temps à la fermentation des tissus de la plante et à la combustion incessante dont ces tissus sont le siège et qui constitue la respiration.

Cela est d'autant plus vrai, qu'en abandonnant à elle-même une fermentation gallique, un mois après la destruction complète du tannin, on voit chaque jour le glucose diminuer et disparaître enfin complètement ; l'acide gallique reste invariable.

C'est probablement à des expériences de ce genre que M. Ed. Robiquet a dû de ne pas rencontrer de glucose dans les décompositions, et a été conduit à affirmer la production de l'acide gallique seul par le tannin.

Mais si le glucose une fois mis en liberté par le mycelium, peut, quand il ne reste plus de tannin, servir d'aliment carboné à la plante, il peut aussi nourrir d'autres organismes que nous connaissons et

que nous avons étudiés au premier chapitre de ce travail, nous voulons parler du ferment alcoolique. Les fermentations alcooliques ont été observées en 1818 par Brécounot et n'ont pas échappé aux industriels fabricants d'acide gallique. Ils ont en effet un immense avantage à éliminer promptement le glucose, qui, se dissolvant avec l'acide gallique dans l'eau et l'alcool, en empêcherait plus tard la cristallisation. Pour ceux-ci la fermentation du tannin n'est réellement achevée que lorsque tout le sucre a disparu, laissant pour ainsi dire l'acide gallique à nu, facile à extraire et à purifier. N'ayant aucun moyen de s'assurer de cette nouvelle fermentation, ils en jugent par le boursofflement de la masse, par le dégagement de l'acide carbonique provenant du sucre transformé. La fermentation gallique est terminée quand la masse privée d'acide carbonique, retombe et s'affaisse en même temps que les cristaux d'acide gallique débarrassés de l'enduit qui les empâte miroitent à l'œil de l'observateur.

Ces deux fermentations sont, comme on a pu le voir, absolument distinctes ; la seconde, n'est que corrélative de la première, contrairement aux assertions de M. Laroque, pour lequel il était impossible de les séparer.

La puissance de ce mycelium comme ferment, est considérable, nous l'avons vu dédoubler le tannin et vivre aux dépens du sucre. Là encore ne s'arrête pas ses instincts destructeurs, quand sa nutrition est en danger par la disparition complète du sucre, l'acide gal-

lique qu'il avait respecté jusqu'alors est attaqué à son tour. Ainsi, à un moment donné, tannin, glucose, acide gallique, tout peut être détruit. Telles sont les fonctions et le rôle du *Penicillium glaucum* et *Aspergillus niger*, lorsque la végétation de leur mycelium s'est faite à l'intérieur d'une infusion de noix de Galles.

Examinons maintenant ce que devient le tannin, si la plante vit et fructifie à la surface. Lorsque la mucédinée s'étale à la surface du liquide et y forme une membrane continue, recouverte d'innombrables fructifications; elle brûle alors rapidement et directement le tannin en exhalant de grandes quantités d'acide carbonique. Il se forme cependant une petite proportion d'acide gallique dont nous indiquerons la provenance. Par compensation, la plante a subi un développement considérable, le 1/10 ou seulement le 1/14 du poids du tannin détruit. Voici les résultats obtenus par M. Van-Tieghem (1), après huit jours d'expérience.

Tannin employé, 92 gr.	{	La plante pèse sèche	3 gr.	5
		Tannin restant	1 »	1
		Acide gallique formé	1 »	9
		Glycose	Néant.	
		Parties disparues	22 »	5
		Total	29 »	00

En suivant l'opération jour par jour, on constate une décomposition moins complète.

Les premiers jours de l'ensemencement, le tannin est directement brûlé à la surface et se dédouble dans

(1) Van Tieghem, *Ann. des sciences naturelles*, 1867, p. 235.

la profondeur du liquide. A ce moment les plaques qui surnagent, issues de la germination des spores, n'ont pas encore tout envahi, et les flocons immergés, vivant aux dépens de l'oxygène dissous, provoquent le faible dédoublement dont il a été question. Mais la solution est-elle entièrement recouverte, les flocons privés d'air cessent de s'accroître et la plante n'agit plus que par combustion directe en faisant rapidement disparaître le tannin.

Il résulte de ce que nous avons exposé, que la même plante peut tour à tour et exclusivement dédoubler le tannin ou le brûler ; en d'autres termes, prendre le carbone dont elle a besoin au sucre du tannin ou au tannin lui-même.

Quant à la manière d'agir de ces ferments. M. Van-Thieghem croit pouvoir affirmer que le dédoublement du tannin est bien le fait de la vie même et du développement du mycelium, et non l'effet de principes solubles sécrétés par lui et susceptibles d'agir en dehors de l'organisme. Cette opinion repose sur l'expérience suivante : si dans une fermentation au début, on supprime l'accès de l'air, la transformation du tannin s'arrête et le mycelium conserve son aspect primitif pendant plusieurs mois. On obtient le même résultat en broyant le mycelium avec une petite quantité d'eau et en versant le suc filtré dans une dissolution de tannin sur laquelle on fait le vide. La fermentation cesse ou ne se produit pas, on peut donc en conclure que la plante ne sécrète pas de principes solubles capables d'agir isolément.

Cependant n'y aurait-il pas ici comme pour la fermentation alcoolique quelques objections à faire à ces conclusions. Le ferment n'agit, on le sait, que lorsqu'il se trouve en présence d'une certaine quantité d'oxygène ; or placer le ferment à l'abri de l'air, le mettre dans le vide, n'est-ce pas changer les conditions ordinaires de sa vie ; et les produits de sécrétion, s'ils existent, ne doivent-ils pas se trouver modifiés en même temps que le milieu ? Pour nous ces expériences rendraient tout simplement le ferment incapable d'agir.

SUBSTANCES QUI FAVORISENT OU EMPÊCHENT LA FERMENTATION GALLIQUE

Les substances qui peuvent favoriser le développement de ces mucédiés et surtout de l'*aspergillus niger*, si bien étudié par M. Raulin (1), sont, le sucre, l'oxygène, des oxydes minéraux, des sels : l'azotate d'ammoniaque, phosphates de potasse, de magnésie, sulfates de fer, de zinc, la silice.

Parmi les substances nuisibles à son action il faut ranger tous les antiseptiques. Quelques gouttes de créosote ou d'acide phénique suffisent à préserver le tannin de l'invasion des myceliums, et à en assurer la conservation indéfinie. Quelques traces d'alcool arrêtent son développement. Mais le phénomène le plus remarquable est son pouvoir de résistance à l'égard de

(1) Raulin, Thèse de doctorat *ès-sciences*, Paris 1870.

l'acide sulfurique. Il ne paraît gêné par l'acidité du milieu où il vit, que lorsqu'on vient à dépasser une dose de $\frac{1}{500}$, dose énorme pour un organisme aussi délicat. D'autres substances au contraire sont d'une toxicité très-grande, ainsi $\frac{1}{1.600.000}$ du poids du liquide de nitrate d'argent, $\frac{1}{512.000}$ de bichlorure de mercure suffisent pour le tuer.

CHAPITRE V.

FERMENTATION AMMONIACALE

M. Dumas a désigné sous le nom de fermentation ammoniacale, la conversion de l'urée en carbonate d'ammoniaque sous l'influence de l'eau, d'un ferment et d'une température convenable.

Cette transformation de l'urée, et, par le fait, cette altération de l'urine, était connue depuis longtemps mais inexpliquée. Déjà Boerhave avait constaté un abondant dégagement d'ammoniaque dans la putréfaction de l'urine ; pour lui c'était une matière putrescible que l'urine emportait du corps. Proust (1) expliquait cette formation d'ammoniaque dans l'urine putréfiée par la fixation de l'azote de l'air sur l'hydrogène de certaines mucosités. C'est seulement au

(1) Proust. *Ann. de Chimie*, t: XXXVI, p. 262.

commencement de ce siècle que Fourcroy et Vauquelin démontrèrent que cette production avait pour origine un corps spécial qu'ils appelèrent *urée*. Mais la fermentation n'était pas encore démontrée ; Ces deux chimistes ne savaient à quoi attribuer la décomposition de ce nouveau corps. Ils avaient remarqué que la transformation était plus lente dans l'eau que dans l'urine ; il devait y avoir dans ce dernier véhicule une cause inconnue qui favorisait la décomposition.

La question en resta là pendant 30 ans environ.

Ce fut M. Jacquemart (1), qui, en 1833, s'aperçut que le dépôt blanc qui se trouve au fond des vases, où l'on conserve l'urine, était la substance la plus apte à déterminer la fermentation ammoniacale mais il ne songea pas à spécifier le mode d'action et la nature du ferment, qu'il regardait d'ailleurs comme une matière amorphe et morte. Il croyait que beaucoup de substances albuminoïdes, la colle forte, la levûre de bière, l'urine filtrée sur son dépôt étaient capables quoique à un moins haut degré, de produire la décomposition de l'urée.

Muller en 1620, puis M. Pasteur virent que ce ferment était constitué par un être organisé, et enfin M. Van Tieghem démontra que l'urine normale, ou une solution d'urée pure rendue altérable par addition de principes azotés et phosphatés, ne fermentait que sous l'action de la *torule ammoniacale*, nom qui fut donné au ferment de l'urée.

(1) Dumas. *Traité de Chimie*, p. 380 ; 1843.

Cohn, après le savant micrographe, l'a appelé *micrococcus urcæ*. C'est un végétal formé de globules sphériques, dont le diamètre ne dépasse pas 1 à 1,5 millièmes de millimètre, réunis en longs chapelets, à courbures élégantes, qui remplissent tout le liquide, pendant la fermentation. Celle-ci terminée, les chapelets se brisent, tombent au fond du vase. Curieuse influence de la lumière, les dépôts floconneux se font tous sur la paroi la plus directement éclairée. Enfin le développement de cette torule se fait par bourgeonnement.

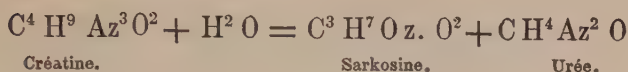
Il y a un an à peine, M. Miquel (1) a trouvé un second ferment de l'urée. Ce ferment il l'a rencontré dans de l'eau d'égout, puisée au grand collecteur de Clichy, et l'a nommé *baccillus urcæ*. Il est formé de filaments grêles, mobiles, isolés ou réunis au nombre de 2, 3, 4 au plus. Leur longueur moyenne atteint 5 ou 6 millièmes de millimètre, et leur largeur 7 à 8 dix-millièmes de millimètre.

CORPS FERMENTESCIBLES

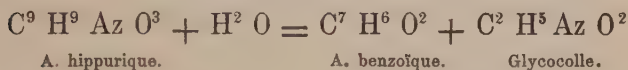
Parmi les composés susceptibles de se transformer au contact de ces ferments, nous trouvons en première ligne l'urée. La décomposition sera la même, soit qu'elle se trouve en présence de la torule ou du baccillus, ou qu'on vienne à la faire bouillir avec de

(1) Miquel. *Bull. soc. chim.* Août 1879, p. 125.

et la créatine formée, traitée par de l'eau de baryte, se dédoubler à son tour en urée et sarkosine.



A côté de l'urée, on rencontre dans les urines des herbivores un corps azoté de constitution analogue, dont la présence constante, caractérise cette classe d'animaux, c'est l'acide hippurique. Comme l'urée, il se double par ébullition avec des alcalis ou les acides, en deux composés plus simples, l'acide benzoïque et le glycolle, suivant l'équation :



Nous ferons remarquer que toutes ces réactions, ces décompositions, ont lieu par addition d'une molécule d'eau seulement, et qu'alors il est possible, comme nous le prévoyons plus haut, que l'action hydratante du ferment puisse les produire.

ROLE ET FONCTION DU FERMENT.

Si on vient à semer la torulacée de M. Van-Tieghem, le bacillus de M. Miquel dans de l'eau ordinaire additionné d'urée pure, de quelque peu de phosphate et d'eau de levûre, on verra bientôt la fermentation s'opérer, et l'urée se transformer rapidement.

On aurait obtenu les mêmes résultats si, à la place de l'urée on avait mis dans la solution un peu d'acide hippurique (1).

Les décompositions chimiques nous sont connues, nous n'y reviendrons pas, nous ajouterons avec M. Miquel (2), que si on vient à remplacer l'atmosphère ordinaire de la fermentation, soit par de l'azote, de l'hydrogène, de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone ou du gaz de l'éclairage, celle-ci n'en continue pas moins à évoluer comme précédemment.

L'action de ces ferments est donc indépendante de la présence de l'urine et de l'air.

Vient-on au contraire à la semer dans une urine, où nous supposons qu'elle se développe seule, nous verrons alors le liquide rester limpide; la fermentation sera prompte, et le dépôt qui se formera au fond du vase, sera uniquement constitué par des chapelets, et des amas de globules mêlés à des cristaux d'urates et de phosphate ammoniaco-magnésien. Si elle végète au contact d'infusoires seulement, la fermentation sera encore facile, mais, si outre ceux-ci il vient à se développer dans l'urine des productions végétales, alors la torulacée vivra péniblement et la transformation de l'urée ne se fera qu'avec lenteur. Dans ce dernier cas, il est un moyen d'éviter toutes ces productions accidentelles; pour cela, on introduit dans un flacon, bouchant bien, une certaine quantité d'urine et quel-

(1) Van-Tieghem. *Comptes-rendus*, t. LVIII, p. 533.

(2) Miquel, *Bull. soc. chimique*, 1878, p. 396.

que peu du dépôt d'une bonne fermentation, on ferme et on porte le tout à l'étuve à une température de 37°. La torulacée se développe parfaitement à l'abri de l'air, les autres végétations périssent et deux ou trois jours après l'urée a complètement disparue.

Mais comment agit le ferment? M. Van Tieghem admet que la fermentation ammoniacale est corrélative de la présence du ferment. Il n'est pas douteux qu'une portion de la matière organique ne serve à la construction des globules de ferment, et bien que le poids de celui-ci soit tout au plus le $\frac{1}{200}$ de l'urée détruite; il est probable que tous ces matériaux hydrocarbonés et azotés sont empruntés à la substance fermentescible. Il se comporte donc comme tous les ferments organisés.

A la suite d'une série de recherches M. Musculus avait été conduit à refuser au ferment de M. Van Tieghem les propriétés qui caractérisent les ferments organisés. Au contraire, il le rapprochait des ferments solubles, tels que la diastase, la salive et le suc pancréatique. Il avait remarqué, qu'en précipitant par l'alcool les urines ammoniacales, épaisses et filantes, on obtenait un précipité muqueux. Lavé, desséché puis pulvérisé; ce précipité, ajouté à de l'eau contenant de l'urée en dissolution, transformait celle-ci au bout de peu de temps, en ammoniaque et acide carbonique.

La question en était là, lorsque MM. Pasteur et Joubert firent disparaître la contradiction qui existait entre M. Van Tieghem d'une part et M. Musculus

d'autre part. Ils démontrèrent que la fermentation ammoniacale pouvait être réalisée sous l'influence d'un ferment soluble, mais qu'elle exigeait la présence de la petite torulacée. Il fut dès lors admis que le ferment sécrète une diastase, qui se détruit au fur et à mesure de sa formation, en opérant le dédoublement de l'urée ; de sorte que le maximum de la formation de ce produit soluble, coïncide avec l'absence de l'urée dans les liqueurs, urineuses ou autres, sur lesquelles on opère.

Nous avons donc là, et nous y reviendrons, un exemple net de fermentation par les ferments organisés, analogue à celles développées par les ferments solubles, diastase, etc.

D'un autre côté, des essais infructueux ont été tentés dans le but de voir si le ferment de l'urée était le seul capable de déterminer l'hydratation de ce composé. Nous avons vu, et nous nous souvenons que la levûre de bière a la propriété d'hydrater le saccharose pour le transformer en glucose et levûlose, et bien cette propriété de fixation de l'eau, elle ne la possède pas vis-à-vis de l'urée.

Ces expériences ont été tentées par M. Müller d'abord, puis par M. Cazeneuve ensuite ; et elles ont fait voir, qu'aussitôt que la liqueur devient alcaline, il se développe de petits globules de levûre ammoniacale qui ont, eux seuls, leur action ordinaire sur l'urée.

Mais si la levûre et les autres ferments étudiés n'ont aucune action sur le dédoublement de l'urée, s'en-

suit-il qu'aucune autre substance ne puisse être la cause déterminante de cette fermentation ammoniacale dans les urines. D'illustres hommes de science, s'ils n'en ont pas trouvés, ont élevé des doutes sur l'action de la torulacée. M. Frémy admet que les organismes vivant peuvent spontanément engendrer les agents de destruction qui déterminent la mort. Les ferments ne sont pas apportés par les poussières de l'air, mais si l'urine devient ammoniacale, dans la vessie ou hors la vessie, il faut attribuer cette modification à l'intervention d'une substance hémiorganisée spéciale, fabriquée par nos tissus eux-mêmes.

M. Poggiale (1), sans nier l'action de la torulacée, croyait possible, sous une influence pathologique quelconque, l'apparition d'une matière organique spéciale, capable de produire le même effet. M. Bouley accuse le mucus, le pus, le sang, d'opérer la transformation ammoniacale des urines et M. Verneuil n'est pas loin de partager son opinion.

Cependant M. Pasteur, et un grand nombre de chirurgiens, entre autres MM. Gosselin et A. Robin, constatèrent toujours dans les urines devenues ammoniacales la présence du ferment de la torulacée.

Nous arrivons donc à conclure que le germe de la torulacée provient de l'extérieur, et si pour expliquer sa pénétration dans la vessie, nous nous heurtons à des impossibilités, ne pourrions-nous pas, comme

(1) Poggiale. *Comptes-rendus de l'Académie de médecine*, 1874, 1876.

M. Pasteur, comparer au tunnel de la Tamise, le canal qui permet aux germes de l'air d'apporter dans la vessie le ferment destructeur de l'urée.

Lorsque l'altération de l'urine se produit à la suite d'un cathéterisme l'origine de l'infection n'est pas douteuse. C'est la sonde qui porte le ferment dans la vessie, et un exemple donné par Traube (1) démontre le fait avec évidence.

Mais on peut se demander si les germes sont d'un apport aussi facile, pourquoi les urines ne sont-elles pas plus souvent ammoniacales? La meilleure réponse à cette question est celle-ci : Toutes les urines, même en dehors l'organisme, ne fermentent pas avec la même facilité, fussent-elles en présence du ferment. Des expériences de MM. Feltz et Ritter viennent à l'appui de cette opinion. Ces savants ont vu que l'introduction dans la vessie de sondes imprégnées de ferment, souvent ne suffisait pas à rendre ammoniacales les urines d'animaux bien portants.

Il y a donc de la part de l'urine dans la vessie une certaine résistance, due probablement à son acidité. On comprendra alors que, suivant la réaction de l'urine, son état, l'ensemencement soit plus ou moins facile, et nous aurons ainsi l'explication de ces résultats discordants qui, au premier abord, ne paraissent pas susceptibles de solution.

Cette corrélation constante entre l'urine ammoniacale et la présence du ferment a été démontrée par

(1) Traube *Fermentations*, de Duclaux, 1877.

M. Cazeneuve, dans un beau travail qu'il a publié en collaboration avec M. C. Livon, et intitulé : *Nouvelles recherches sur la fermentation ammoniacale de l'urine et la génération spontanée*, 1877. Ces chimistes ont, par neuf expériences, faites *in animâ vili*, montré que l'urine acide ou alcaline ne subissait de décomposition ammoniacale que lorsqu'elle était au contact de l'air. Enfin M. Miquel (1) vient de démontrer l'existence du ferment ammoniacal dans l'air que nous respirons.

CAUSES QUI PEUVENT INFLUENCER LA FERMENTATION AMMONIACALE.

Pour qu'une fermentation ammoniacale marche bien, il faut opérer avec des ferments très-purs, et en aussi grand nombre que possible, car l'activité du phénomène est proportionnelle au nombre des globules.

La température la meilleure et la plus convenable est celle du corps humain 37°.

Les alcalis sont nécessaires à sa vie et à son développement, et il est curieux de voir des végétations se continuer dans des liqueurs très-alcalines. M. Van Tieghem a vu une fermentation se faire et ne s'arrêter qu'en présence de 15 % de carbonate d'ammoniaque, à ce moment, il est vrai de le dire, toutes les cellules végétales ont été détruites. On peut juger par là quelle action saponifiante et irritante, de

(1) Miquel, Bull. de la Soc. chim., 1878, p. 390.

semblables liqueurs peuvent exercer sur la muqueuse vésicale.

Ce ferment — surtout la portion active, la partie soluble — est détruit, mis rapidement hors d'état d'agir par la présence des acides minéraux (1). Un grand nombre d'acides organiques sont aussi dans ce cas, telles sont les acides tartrique, acétique, salicylique. Quant à l'acide phénique, il ne paraît pas avoir d'action bien marquée sur le ferment ammoniacal.

Il est très-sensible à la chaleur, ainsi, d'après M. Miquel, une température de 54° maintenue pendant deux heures le tue sans retour. Une urineensemencée perdrait donc la faculté de fermenter, si on venait à la placer dans de semblables conditions.

(1) M. Pasteur aurait surtout constaté le pouvoir destructeur de l'acide borique. Comptes-rendus, t. XC, 1880.

CHAPITRE VI

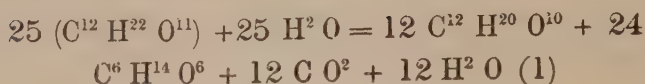
FERMENTATION MANNITIQUE DES SUCRES

Phénomène précurseur des fermentations lactique et butyrique, cette fermentation se développe dans certains vins blancs, dans des jus sucrés naturels, comme ceux de betteraves, etc., et parfois au sein de quelques préparations renfermant du sucre et des matières azotées. Son caractère principal est de rendre le liquide visqueux, d'où son nom encore usité de fermentation visqueuse, glaireuse et muqueuse.

C'est M. Pélégot qui, le premier, a signalé dans les dissolutions sucrées le ferment spécial dont elle dérive. Pour M. Pasteur, il n'y aurait pas là un ferment unique, mais bien deux types susceptibles de donner dans certaines conditions, deux fermentations : *gummo-mannitique* et *gummique*.

Quoi qu'il en soit, ce ferment, semé dans un liquide sucré, contenant des substances azotées et minérales,

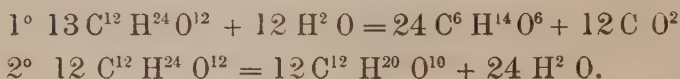
conduit à des résultats invariables, qui peuvent se traduire par l'équation :



Ce qui donne pour 100 de sucre :

Mannite	51.09
Gomme	45.48
Acide carbonique . . .	6.18

M. le professeur Monoyer a proposé les équations suivantes, pour rendre compte de la formation séparée de la gomme et de la mannite :



Les observations de M. Pasteur sur la variabilité de formation de la gomme, tendraient à justifier ces dernières formules, mais la question des deux ferments, des deux fermentations, rien moins que précise, doit être réservée.

La gomme obtenue se rapproche beaucoup plus de la dextrine que de la gomme ordinaire, car l'acide azotique la transforme en acide oxalique sans produire d'acide mucique.

(1) Schützenberger, Des fermentations, 1876.

CHAPITRE VII.

FERMENTATION LACTIQUE

Le phénomène de l'acidification du lait a du être observé dans les temps les plus reculés. Néanmoins ce n'est qu'en 1780 que Scheele retira du lait aigri l'acide lactique dont Berzelius (1) démontra les propriétés acides, et dont Mitscherlich et Liebig (2) déterminèrent en 1832 la composition exacte.

A partir de cette époque de nombreuses méthodes furent indiquées pour la préparation de cet acide au moyen de la fermentation du sucre.

Nous ne les passerons pas en revue, nous contentant de signaler leur principe.

On ajoute à du lait une certaine quantité de sucre de canne, et, on attend que la fermentation se pro-

(1) *Ann. der Chem. und Pharm.*, t. I, p. 1.

(2) *Ann. der Chem. und Pharm.*, t. VII, p. 47.

duise d'elle-même (1), ou bien on l'excite en ajoutant au mélange du fromage pourri (2).

On trouvera dans les mémoires originaux la description de ces différents procédés, nous ne voulons ici que montrer par quelles phases a passé l'histoire de cette fermentation.

Bien avant les découvertes de Pasteur on avait donc remarqué que la présence d'une matière azotée était indispensable au développement de la fermentation, puisqu'on avait toujours soin d'ajouter du lait dans la dissolution de saccharose ou de lactose.

On avait remarqué aussi que la présence de l'acide lactique formé pouvait entraver la fermentation d'où l'indication de neutraliser cet acide au fur et à mesure de sa formation, soit par le bicarbonate de soude (Boutron et Fremy), soit par le carbonate de chaux (Gobley, Bensch), soit par l'oxyde de zinc (Lantermann).

On conçoit, d'après cet exposé, que la fermentation lactique apportait aux partisans de la théorie de Liebig un puissant argument. C'est en effet en ajoutant aux substances fermentescibles du fromage pourri c'est-à-dire une matière albuminoïde en voie de décomposition qu'on réalisait les meilleures conditions de cette fermentation.

Personne d'ailleurs n'avait constaté, comme dans la fermentation alcoolique, la présence d'une matière organisée.

(1) Boutron et Fremy, *Ann. de Chim. et de Phys.* (3), t. II, p. 257.

(2) Bensch. *Ann. der Che. und Pharm.*, t. LXI, p. 174.

Remak (1), puis Blondeau en 1848 (2), avaient bien entrevu le ferment lactique, mais leurs découvertes incomplètes n'eurent aucun ret ntissement.

C'est donc à M. Pasteur (3), que revient l'honneur d'avoir montré le premier que la fermentation lactique est produite sous l'influence de microbes spéciaux.

2° FERMENT — SA NATURE

Le ferment se présente dans une fermentation lactique ordinaire sous formes de taches grises semées à la surface du dépôt.

Examinées au microscopie ces taches sont très-difficiles à distinguer du caséum désagrégé. Mais si on en ajoute une trace à une dissolution de sucre dans de l'eau de levûre, et si on porte le liquide additionné de craie, à une température de 30° à 35°, au bout de peu temps la fermentation se produit, la craie est dissoute dans l'acide lactique et son acide carbonique se dégage.

Quand la fermentation est terminée, on trouve au fond du vase une matière tout à fait analogue comme aspect à la levûre alcoolique, et qui n'est autre chose que le résultat de la prolifération et du développement de la petite quantité de ferment semée sur le liquide au début de l'expérience.

(1) Remak, *Canstatto Jahersbericht*, t. I, 1841.

(2) *Journal de pharmacie* (3), t. XII, p. 244 et 336.

(3) *Ann. de chimie et de physique*, (3), t. LII, p. 407.

Au microscope, d'après la description de M. Boutroux (1), qui a continué dans le laboratoire de M. Pasteur, les études commencées par celui-ci, on voit que le ferment lactique est constitué par des cellules ovales disposées ordinairement par groupe de deux, égales, placées bout à bout, souvent aussi en chapelets de forme plus ou moins courbe. Les dimensions des cellules sont très-variables, la largeur varie environ entre un et trois millièmes de millimètre. La longueur est à peu près double. La forme même n'est pas absolument fixe.

M. Boutroux considère le ferment lactique et le *mycorderma aceti* comme un seul et même organisme dont les fonctions varient avec la composition des milieux nutritifs. M. Pasteur lui a donné le nom de *fermentum lacticum*, et plus tard celui de *vibrion lactique*. M. Davaine le rapproche à cause de sa forme des *Bacterium catenula* ou *termo*.

CORPS FERMENTESCIBLE

Cet organisme se développe fort bien dans tous les mélanges de sucre et d'un liquide azoté quelconque, (petit lait, infusion de malt, de foin, eau de levûre, etc.) M. Schützenberger fait la remarque que les sucres qui subissent le plus facilement la fermentation alcoolique sont ceux qui se transforment le plus difficilement en acide lactique et réciproquement. Ainsi

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 605.

le sucre de lait, qui se convertit facilement en acide lactique, subit très-difficilement la fermentation alcoolique. La dulcite, la mannite, la sorbine, l'inosite, qui ne subissent pas la fermentation alcoolique, peuvent être attaquées par le ferment lactique.

La fermentation lactique joue un rôle important dans un très-grand nombre de phénomènes.

Ainsi Braconnot (1) a signalé dans les eaux sûres des amidonniers, dans le jus de betteraves ayant subi la fermentation visqueuse, dans la jusée des tanneurs, dans l'eau où on laisse fermenter du riz, des pois, des haricots cuits, la présence d'un acide qu'il appela *nancéique* et qui n'est autre que de l'acide lactique, produit par fermentation. Le même corps a été extrait par Liebig de la choucroûte. On le trouve dans le pain, et la fermentation lactique n'est pas sans jouer un rôle peut-être prépondérant dans la panification. Il s'en produit souvent dans la fermentation alcoolique, par suite de la présence dans la levûre d'une petite quantité de ferment lactique, si bien qu'on avait cru à tort avant les travaux de M. Pasteur que l'acide lactique était un des produits secondaires de cette fermentation, au même titre que la glycérine ou l'acide succinique.

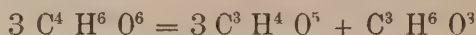
La bière, comme la moins acide des liqueurs alcooliques, est souvent envahie par la fermentation lactique, Balard (2), puis M. Pasteur (3), ont signalé

(1) *Ann. de Chimie*, t. LXXXVI, p. 84.

(2) *Comptes-rendus*, t. LIII, p. 1226.

(3) *Etudes sur le vin*, 2^e édition, p. 55.

la présence de l'acide lactique dans certains vins tournés. Elle a été vérifiée récemment par M. Armand Gautier (1) dans des vins du Midi de la France affectés d'une forme spéciale de tourne. Nous avons déjà eu l'occasion de mentionner ce fait en parlant de l'acétification. Rappelons que pour ce dernier auteur il ne s'agit pas là d'une fermentation lactique proprement dite, mais du dédoublement, sous l'influence d'un parasite spécial, de l'acide tartrique en acide tartronique et acide lactique suivant l'équation :



FONCTION ET RÔLE CHIMIQUE DU FERMENT

Une très-petite quantité de ferment lactique peut transformer en acide lactique une très-grande quantité de sucre, à condition :

1° Que l'acidité du liquide soit continuellement saturée, la fermentation se trouvant arrêtée dès que cette acidité dépasse 1 gr. 5 d'acide lactique par cent centimètres cubes de liqueur ;

2° Q'il y ait dans le liquide une substance azotée capable de nourrir le microbe.

Dans ces conditions, quand le ferment lactique est bien pur, la fermentation peut être plus rapide que la fermentation alcoolique.

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 1340.

L'acide lactique et le glucose ayant la même composition centésimale, le rôle chimique du ferment consiste à produire dans la molécule de glucose une simple modification isomérique :



La fermentation ne devrait donc théoriquement donner naissance à aucun dégagement gazeux.

Mais il est rare qu'il ne se produise pas en même temps, de la fermentation butyrique, qui donne alors lieu à une production d'hydrogène et d'acide carbonique.

La fermentation une fois terminée, le vibrion lactique peut conserver très-longtemps sa vitalité sans qu'il semble pourtant se former de spores.

La température agit sur la fermentation lactique dans le même sens que sur tous les phénomènes analogues.

D'après M. Richet, jusqu'à 44° l'activité de la fermentation augmente avec la température ; de 44° à 52° elle reste stationnaire, à partir de 52° elle diminue avec la température.

A une température un peu supérieure à 100° le ferment est tué.

L'influence de l'oxygène sur la fermentation lactique est assez curieuse.

M. Richet (1) a constaté qu'en faisant passer dans

(1) Comptes-rendus, t. LXXXVI, p. 550.

dans le liquide qui fermente un courant d'oxygène on pouvait rendre la fermentation dix fois plus active.

Et non-seulement la présence de l'oxygène facilite la fermentation, mais l'absence de ce gaz la rend impossible.

Si l'on prive d'oxygène soit par le vide, soit par un courant d'acide carbonique un mélange de sucre et d'eau de levûre préalablement ensemencé avec du ferment lactique, et qu'on maintienne ce mélange à 30°-35° dans un ballon fermé à la lampe, aucune fermentation ne s'y développera.

Les germes ne sont pourtant pas morts ; car il suffit de laisser pénétrer de l'air dans le ballon pour voir commencer la fermentation.

Si au contraire on excite une fermentation lactique dans un ballon plein d'oxygène pur, la fermentation après avoir été très-vive au début s'arrêtera. Ouvre-t-on le flacon à ce moment ? on constate que *tout* l'oxygène a été absorbé et qu'il a été remplacé par un volume d'acide carbonique à peine égal au quart du volume d'oxygène primitif.

Or, si on songe que la transformation du sucre en acide lactique, est un simple changement isomérique, on voit que cette grande quantité d'oxygène est utilisée uniquement à faire vivre la cellule du ferment lactique.

L'acide phénique a relativement peu d'action sur la fermentation lactique. Il ne l'arrête que quand il se trouve en quantité supérieure à celle que peut dissoudre le liquide fermentescible.

La fermentation butyrique est définitivement arrêtée par des quantités de phénol qui ne font que ralentir un peu la fermentation lactique.

On pourrait se servir de cette propriété pour séparer le ferment lactique du ferment butyrique (1).

D'après M. Paul Cazeneuve (2), l'urine ammoniacale serait un excellent terrain pour la fermentation lactique. Dans ce cas l'acide lactique produit s'unit à l'ammoniaque de l'urine.

Le vibrion lactique peut se développer dans d'autres milieux que les milieux sucrés. Ainsi il vit très-bien sur un mélange d'eau de levûre et de glycol. Il donne alors lieu à des fermentations spéciales, dont l'étude est encore à faire.

FERMENTATION DU LAIT

Les conditions de fermentation ont été bien étudiées par M. Richet (3).

Il a constaté que :

1° L'acidité maximum du lait chauffé dans une étuve à 40° ne peut dépasser 13,6 d'acide lactique pour 100 gr. de lait ;

2° Si on ajoute à du lait quelques gouttes d'acide minéral, sulfurique ou chlorhydrique, de manière que

(1) Richet, *loco citato*.

(2) *Journ. de Pharm. et de Chim.*, 5^e série, t. I, p. 212.

(3) *Comptes-rendus*, t. LXXXVII, p. 550, et t. LXXXVII, p. 750.

l'acidité du mélange correspond à 1 gr. d'acide lactique 0/0, la fermentation est absolument entravée ;

3° La pepsine, qui précipite et redissout ensuite la caséine, favorise au contraire la fermentation. En vingt-quatre heures, le lait acquiert une acidité, que sans l'adjonction de présure il ne pourrait acquérir qu'au bout d'une semaine, et après quatre jours, l'acidité peut atteindre 4 gr. d'acide lactique 0/0 limite que du lait fermentant dans les conditions normales n'atteint jamais.

Comment expliquer cette action de la présure ? D'après M. Richet, la caséine dissoute par le suc gastrique servirait à la nutrition du ferment.

M. Richet a réalisé pour confirmer son hypothèse les expériences suivantes :

1° Il a constaté que si on filtrait le lait immédiatement après avoir coagulé la caséine par la présure, le petit lait filtré contenant toute sa lactose fermente, mais son acidité ne dépasse jamais 1^{er},6. Le même lait coagulé par la même quantité de présure mais non filtré avait vu son acidité s'élever à 4 gr. d'acide lactique ;

2° Une solution de lactose pure, et une solution de caséine dans le suc gastrique ne fermentent pas séparément, mais réunies elles fermentent.

Le suc pancréatique, les peptones, ont, bien qu'à un moindre degré, la même action que le suc gastrique.

Ainsi l'acidité maximum du lait fermenté dans les conditions normales étant représentée par 100, l'aci-

dité maximum en présence du suc pancréatique sera représentée par 290, et en présence des peptones par 144.

Le lait congelé ne perd aucune de ses propriétés fermentescibles, mais il n'en est pas de même du lait bouilli.

Le lait bouilli une demi-heure ne peut acquérir par la fermentation qu'une acidité moitié moindre que le même lait non bouilli.

L'ébullition agit probablement en coagulant une matière organique utile au développement du ferment.

L'expérience suivante semble mettre en évidence ce mode d'action de l'ébullition.

Si on précipite du lait par du sous acétate de plomb, on obtient un précipité, qui repris par l'eau et traité par un courant d'acide carbonique, donne une liqueur limpide.

Cette liqueur additionnée de lactose et ensemencée avec un peu de lait aigri fermente bien, mais, si on le fait bouillir préalablement une demi-heure il s'en sépare un précipité albumineux et le liquide ne fermente plus avec la même activité.

Soit 100 d'acidité qu'acquiert en fermentant le liquide non bouilli, l'acidité du liquide fermentant après ébullition ne dépassera pas 50.

L'influence que nous avons signalée de l'oxygène sur la fermentation lactique explique ce fait connu depuis longtemps que le lait fermente plus facilement dans un vase ouvert que dans un vase fermé.

CHAPITRE VIII

FERMENTATION BUTYRIQUE

L'acide butyrique se forme dans tous les phénomènes de décomposition putride.

Aussi l'étude de la fermentation butyrique a-t-elle été longtemps absolument confondue avec celle de la putréfaction.

Le moyen de l'exciter, identique à celui que nous avons indiqué dans l'étude du ferment lactique, consistait en l'emploi de viande gâtée, de fromage ou de gluten pourri et autres matières organiques en voie de putréfaction, ajoutées à une solution de sucre.

En présence de substances aussi complexes, il eut été vraiment bien extraordinaire d'obtenir une fermentation de nature simple comme la fermentation alcoolique par exemple.

Aussi, si l'on savait que, dans la fermentation lactique, une partie de glucose passait à l'état d'acide

butyrique, si l'on savait que dans des conditions spéciales, la totalité de l'acide lactique formé lui-même, pouvait se transformer ultérieurement en acide butyrique, on ignorait absolument sous quelle influence se produisait cette transformation.

Ce sont, comme pour la fermentation lactique, les travaux de M. Pasteur qui ont éclairé ces phénomènes d'un jour nouveau.

M. Pasteur s'est préoccupé d'obtenir une fermentation butyrique pure, si l'on peut s'exprimer ainsi, c'est-à-dire soustraite à l'action de tout germe étranger.

Il se sert à cet effet d'un ballon à deux tubulures, dont l'une recourbée tient lieu de tube abducteur, tandis que l'autre terminée en entonnoir est fermée par un robinet de verre.

Dans ce ballon, il introduit 8 à 10 litres d'eau pure tenant en solution 225 grammes de lactate de chaux et de petites quantités de phosphates d'ammoniaque et de potasse, de sulfates d'ammoniaque et de magnésie.

On fait bouillir le liquide, pour tuer les germes qu'il peut contenir et chasser l'air qu'il tient en dissolution, puis à l'aide de la tubulure à entonnoir, on introduit quelques gouttes d'une fermentation butyrique en activité, sans introduire d'air.

La fermentation se produit ; si alors on examine une goutte du liquide, on peut y constater la présence d'une grande quantité de vibrions, auxquels M. Pasteur

a donné le nom de *fermentum butyricum* et qu'il décrit ainsi :

« Le ferment butyrique est constitué par de petites
« baguettes cylindriques arrondies à leurs extrémités ,
« ordinairement droites, isolées ou réunies par chaîne
« de 2, 3, 4 articles et même davantage. La largeur
« de ces bâtonnets est en moyenne de 2 millièmes de
« millimètre, et la longueur des articles isolés varie
« de 2 à 20 millièmes de millimètre ; ces organismes
« s'avancent en glissant. Pendant ce mouvement leur
« corps reste rigide, ou éprouve de légères ondula-
« tions ; ils pirouettent, se balancent et font trembler
« leurs extrémités ; souvent ils sont recourbés. Ces
« êtres singuliers se reproduisent par fission. »

Au point de vue botanique, ce ferment ne serait autre que le *Bacillus subtilis*, de Cohn, et le *Vibrio subtilis* d'Ehrenberg.

Ce *Bacillus* a la propriété de prendre, dans certaines circonstances, une forme *céphalée* contenant des spores persistantes, qui apparaissent au microscope, sous l'aspect de corpuscules brillants.

Ces spores mises en liberté, peuvent devenir le germe de nouveaux bâtonnets de *Bacillus*.

Le *Bacillus subtilis* peut résister à une température de 105°.

D'après M. Pasteur (1), il est anaérobie et non-seulement il peut vivre dans des milieux privés d'air, mais l'oxygène libre le tue.

(1) Comptes-rendus, t. 411, p. 344.

Par quel mécanisme ce microbe peut-il donc se répandre dans la nature et aller féconder à travers une atmosphère mortelle pour lui, des solutions stériles?

C'est aux spores du *Bacillus* que M. Pasteur attribue ce rôle. Ces corpuscules brillants auraient, en effet, la propriété de résister à l'action toxique de l'oxygène, peut-être même auraient-ils besoin de subir à un moment donné son influence passagère.

Ce sont ces germes qui, répandus dans l'atmosphère, vont donner naissance quand le hasard les mettra en présence d'un milieu approprié aux innombrables bacilli, agents actifs de la fermentation butyrique.

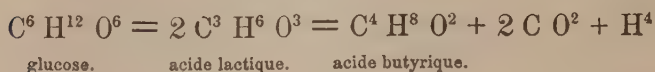
Nous nous contentons de signaler ici les idées de M. Pasteur, nous réservant de discuter à propos de la putréfaction cette curieuse propriété de l'anaérobiose des microorganismes.

Le vibron butyrique peut vivre et remplir son rôle de ferment dans un très-grand nombre de substances autres que le lactate de chaux.

Ainsi on comprendra facilement qu'il peut s'associer à toutes les fermentations lactiques détruisant l'acide lactique formé au fur et à mesure de sa production.

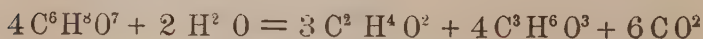
Les sucres, les matières amylacées, les acides tartrique, citrique, malique, mucique, les matières albuminoïdes sont capables de subir la fermentation butyrique, soit après une fermentation lactique préalable, soit peut-être directement.

Mais si la fermentation d'acide butyrique aux dépens du glucose, de l'acide lactique peut s'exprimer par une formule très-simple :



Dans la décomposition d'autres corps, il se produit des produits secondaires comme l'acide acétique, l'acide propionique, l'acide valérique, l'acide succinique, dont la fermentation ne peut pas être *à priori* rapportée au ferment butyrique, et qui exigent peut-être l'action d'organismes spéciaux, mais nous devons dire que nos connaissances sur ces réactions secondaires de la fermentation butyrique sont très-vagues.

D'après M. Personne, l'acide citrique avant de subir la fermentation butyrique fixerait de l'eau et dédoublerait en acides lactique, acétique et carbonique :



La fermentation de l'acide tartrique, offre des particularités intéressantes.

Ainsi il peut subir directement la fermentation butyrique :

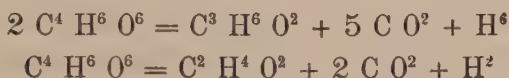


ou bien après transformation préalable en acide lactique d'après l'équation.



Le tartrate de chaux brut abandonné en été sous l'eau en présence des matières organiques, fournit par sa fermentation de l'acide propionique, ou plutôt d'après Limpricht et Van Uslar un isomère de l'acide propionique, tandis que dans les mêmes conditions le tartre brut sans addition de chaux ne donne naissance par sa décomposition qu'à de l'acide acétique.

Voici d'ailleurs les deux réactions :



FERMENTATION DE LA CELLULOSE

Le 18 mars 1850, Mitscherlich (1) annonçait à l'Académie de Berlin que la cellulose fermente. Si, en effet, on met dans l'eau des tranches de pommes de terre, après quelques jours les cellules du parenchyme se désagrègent puis se dénudent. La cellulose qui les unissait et les recouvrait a disparu ; l'amidon est tombé au fond avec les débris du protoplasma. Si on ajoute au liquide filtré des tranches nouvelles, elles se désagrègent plus vite que les premières, car le ferment s'est multiplié.

Dès cette époque, Mitscherlich ayant remarqué dans le liquide un grand nombre de vibrions disait : « Il se peut que ces vibrions soient, ici aussi, l'agent du phénomène. »

(1) Monatsberichte, der Berliner, Académie.

C'est, en effet, à ce vibron que l'on doit, aujourd'hui, attribuer la fermentation de la cellulose.

Il a été découvert dans le cours de ses études sur les laticifères par M. Trecul (1), qui l'a décrit sous le nom d'*Amylobacter* et en a désigné trois genres d'après leur forme, qui est cylindrique (*Amylobacter* vrai), en fuseau (*clostridium*), ou en têtard (*urocephalum*).

M. Van Tieghem (2) ayant repris cette étude a établi que les différents genres créés par M. Trecul correspondaient simplement à des périodes différentes du développement de l'*amylobacter*. C'est aussi M. Van Tieghem qui a étudié les phénomènes de fermentation produits par cet organisme (3).

Le *bacillus amylobacter* — tel est le nom que lui donne M. Van Tieghem — possède donc la double propriété de dissoudre la cellulose et de la faire fermenter.

Toutes les membranes des cellules des plantes ne sont pas indifféremment attaquées par le microbe, sauf dans l'embryon. Toutes les membranes où par les progrès de l'âge la cellulose s'est transformée ou inscruée (cuticule, liège, fibres et vaisseaux du bois, etc.), résistent à son action.

Il en est de même des fibres du liber, des laticifères, de la moelle des tiges à partir d'un certain âge, etc. On sait que dans l'industrie, on se sert du rouissage,

(1) Comptes-rendus, t. LXI, p. 156 et 436; t. LXV, p. 513.

(2) *Bull. de la Soc. bot.*, 23 mars 1877.

(3) Comptes rendus, t. LXXXVIII, p. 205, et t. LXXXIX, p. 5.

qui n'est que l'action en grand de l'*amylobacter*, pour préparer les fibres textiles.

Dans les phanérogames aquatiques submergées, aucun des éléments de la tige et des feuilles n'est attaqué par l'*amylobacter*, ce qui est une nécessité de leur existence.

Ce tableau incomplet rend compte de la différence d'action du microbe sur les diverses celluloses.

Le *Bacillus amylobacter* a la propriété de résister à une température de 100°, ce qui donne un moyen de l'isoler des autres organismes. Il suffit de le semer dans un liquide bouillant.

Pendant que M. Van Tieghem suivait le cours de ses recherches, M. Prazmowski de Leipzig (1), annonça que le *Bacillus amylobacter* n'était autre que le vibrion butyrique de M. Pasteur.

C'est en effet le résultat auquel est arrivé de son côté M. Van-Tieghem.

C'est dire que toutes les substances capables de subir la fermentation butyrique seront attaquées par le *Bacillus amylobacter*.

M. Van-Tieghem cite la cellulose, l'amidon soluble, la dextrine, le sucre de canne, toutes ces substances étant préalablement transformées en glucose, probablement par le fait d'une diastase sécrétée par le microbe.

Il faut joindre à cette liste la dextrane (corps insoluble qui constitue la majeure partie de ce qu'on

(1) *Botanische Zeitung*, 27 juin 1879.

appelle gomme de sucrerie), la lichénine, l'arabine, la lactose, la mannite, la glycérine, les acides lactique, malique, citrique, dans leurs sels de chaux, et probablement beaucoup d'autres substances.

Une particularité de l'histoire de l'*amylobacter* c'est sa propriété de produire, dans la phase de son existence qui précède la formation des spores, une certaine quantité d'amidon dont il imprègne son protoplasma.

Ce fait se produit dans des liquides qui ne contiennent pas trace d'amidon.

M. Prazmowski en désaccord sur ce point avec M. Van Tieghem n'a pas observé cette formation d'amidon.

Tout ce que nous avons dit de l'anaérobiose du *bacillus subtilis* et des conditions et des produits de la fermentation butyrique, s'applique à l'*amylobacter* et à la fermentation cellulosique.

Comment agit l'*amylobacter* sur les éléments de la cellule autres que la cellulose ?

Il les respecte, et on sait que l'on a employé cette propriété pour l'extraction de l'amidon par le procédé de fermentation.

D'après M. Van Tieghem chacun des trois autres éléments de la cellule, amidon, albumine et matière grasse est attaqué et dissous par un organisme spécial. Il faut donc l'action de quatre organismes différents pour dissoudre une cellule végétale, et entre ces quatre microbes il y aurait, au moins en ce qui concerne la première phase de leur action sur la cellule

végétale, une spécialisation, une division du travail, analogue à celle que l'on observe le long du tube digestif d'un animal supérieur.

Ne terminons pas sans signaler un fait très-curieux observé par M. Van Tieghem (1).

En examinant des préparations taillées par M. Renault dans les silex du terrain houiller de Saint-Etienne, le savant botaniste a vu sur des radicelles analogues aux radicelles d'if ou de cyprès des traces visibles du développement actif du *bacillus amylobacter* à l'intérieur de ces organes.

Donc dans les marécages de l'époque carbonifère, comme dans nos marais actuels les mêmes plantes subissaient dans les mêmes régions de leurs tissus la même dissolution par le même agent.

On conçoit tout l'intérêt de ce fait au point de vue de la Paléontologie.

(1) Comptes-rendus, t. LXXXIX, p. 1102.

CHAPITRE IX

FERMENTATION DES ALBUMINOÏDES

Les matières albuminoïdes subissent des transformations chimiques sous l'influence des ferments. Un animal meurt : ses tissus albumineux subissent une désagrégation dans laquelle les ferments, jouant un rôle, donnent naissance au phénomène qu'on a désigné sous le nom de putréfaction. Chez l'animal vivant lui-même, il s'opère certaines transformations chimiques aux dépens de ses albuminoïdes, c'est alors qu'apparaît l'état maladif ou pathologique. L'affection charbonneuse, la septicémie, le choléra des poules, etc., sont des types de ces maladies parasitaires où les matières albuminoïdes subissent des décompositions encore inconnues.

Fermentation des matières albuminoïdes en dehors de l'organisme vivant ou putréfaction, fermentation

des matières albuminoïdes chez l'être vivant dans certains cas spéciaux, constituent deux groupes de phénomènes où les microorganismes semblent jouer un rôle actif important.

Loin de nous, dans ces circonstances délicates de généraliser et de faire dire aux faits ce qu'ils ne disent pas.

Verrons-nous, avec M. Charles Robin et son école, dans les maladies dites infectieuses des phénomènes chimiques indépendants des microorganismes ? Le virus de nature chimique serait-il le seul fauteur des désordres, et les êtres inférieurs reconnus au microscope un simple épiphénomène ? Admettrons-nous au contraire avec M. Pasteur que dans certaines maladies — charbon, choléra des poules — le microbe est véritablement l'agent morbifique ? Chacune de ces théories compte de nombreux partisans ; mais n'anticipons pas, cette discussion trouvera sa place au chapitre des fermentations pathologiques.

Aussi bien dans l'organisme vivant qu'en dehors de lui, l'étude chimique de la fermentation des substances albuminoïdes est à l'état embryonnaire.

Dans les fermentations que nous avons étudiées jusqu'ici, nous avons toujours vu le rôle chimique du ferment se réduire à la décomposition d'un corps de constitution déterminée en d'autres corps bien définis dans leur nature, et nous avons toujours pu représenter la transformation produite sous l'influence du microbe par une équation chimique.

Dans la fermentation des matières albuminoïdes, nous nous trouvons en face de deux difficultés nouvelles : 1° La constitution chimique mal connue du corps fermentescible, et de certains produits de la putréfaction ; 2° La multiplicité des ferments amenant la multiplicité des réactions.

Une putréfaction, dans le sens le plus scientifique qu'on peut donner à ce mot, est donc, non pas un phénomène simple, mais la résultante d'un grand nombre de fermentations simples ayant probablement chacune pour agent un organisme microscopique différent et donnant lieu chacune à une réaction chimique différente.

Certains produits de ces fermentations partielles peuvent être détruits au fur et à mesure de leur production par un organisme autre que celui qui lui a donné naissance, de même que dans une fermentation lactique, l'acide lactique produit peut être transformé en acide butyrique sous l'action du *bacillus subtilis*.

Il en résulte une difficulté de plus pour comprendre des réactions dont les termes intermédiaires nous échappent. Ce n'est que le jour où l'expérience aura isolé les unes des autres ces fermentations partielles que la théorie chimique, de ce qu'on appelle aujourd'hui la putréfaction, pourra être fondée.

Malheureusement peu de travaux en ce sens ont été faits. Ils se réduisent à peu près à ceux de M. Miquel sur la fermentation sulfhydrique, et à ceux non encore achevés de M. Duclaux sur la fermentation de la caséine.

Nous allons les exposer rapidement avant d'aborder l'étude complexe de la putréfaction.

1° FERMENTATION SULFHYDRIQUE.

Longtemps confondue avec l'histoire de la putréfaction, la fermentation sulfhydrique a été pour la première fois isolée et étudiée par M. Miquel, au mois d'août 1879 (1).

Le ferment sulfhydrique se présente sous la forme « d'un organisme bactériforme mobile, formé de cellules allongées ou circulaires, dont l'épaisseur n'atteint pas 1 millième de millimètre. Ces cellules ou bâtonnets rudimentaires s'étranglent et se multiplient par scissiparité. Dans des solutions plus riches en substances nutritives, on voit la bactérie s'allonger, devenir bacille et se présenter en articles plus longs. »

Ce ferment peut vivre dans un milieu exempt de soufre et de toute substance sulfurée, et, dans ce cas, il dégage aux dépens des matières organiques de l'acide carbonique et de l'hydrogène.

On le trouve en abondance dans les eaux d'égout, les eaux potables et même quelquefois dans les eaux pluviales.

Les corps capables de donner naissance à l'hydrogène sulfuré sous l'influence de ce ferment, sont les différentes matières albuminoïdes, le caoutchouc vulcanisé, et le soufre métalloïdique.

(1) *Bull. de la Soc. chim.*, t. XXXII, p. 127.

La fermentation des diverses albumines sous l'influence du ferment sulfhydrique est identique comme dispositif à toutes celles que nous avons déjà étudiées. On ensemence avec ledit ferment une solution d'albumine qu'on porte à une température de 30° à 35°, et l'on constate le dégagement d'hydrogène sulfuré.

Ce qui est le plus intéressant, c'est la formation de l'hydrogène sulfuré aux dépens du soufre.

Pour la réaliser, M. Miquel place dans un vase du soufre et de l'eau tenant en dissolution 0,1 à 0,2 % d'un sel ammoniacal à acide hydrocarboné, et au bout de deux jours il constate dans le liquide la présence de plus de 3 décigrammes d'hydrogène sulfuré.

Dans un liquide alcalin il se formerait des sulfures.

C'est la condition réalisée quand on ajoute à l'eau, au sein de laquelle se passe cette fermentation, de l'urée et un peu de ferment ammoniacal. En moins de 72 heures la liqueur contient environ 0^{gr},7 de sulfhydrate d'ammoniaque par litre.

La température, qui paraît le mieux convenir à cette fermentation, est 30° à 35°. Une température de 50° soutenue pendant quelques heures est capable de l'arrêter.

Comme un grand nombre de ferments, le ferment sulfhydrique est tué par l'hydrogène sulfuré auquel il donne naissance.

Dès que la quantité de ce gaz dépasse 60 — 70^{cc} par litre la fermentation s'arrête. Aussi quand on veut détruire tout le soufre d'une substance albuminoïde est il bon de chasser l'hydrogène sulfuré au fur

et à mesure de sa production par un courant d'acide carbonique.

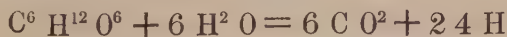
Les sulfures semblent moins vénéneux que l'hydrogène sulfuré.

D'après M. Miquel le ferment sulfhydrique serait absolument anaérobie.

Le rôle chimique du ferment sulfhydrique est extrêmement intéressant.

En effet, nous avons vu jusqu'à présent les microorganismes produire des réactions d'analyse comme le ferment alcoolique, de combustion comme le ferment acétique, ou une simple transformation isomérique comme le ferment lactique.

Or, voici un microbe qui, en présence d'une matière hydrocarbonée, la décompose pour les besoins de sa nutrition en dégageant de l'acide carbonique et de l'hydrogène. Il fait donc l'*analyse* du corps hydrocarboné, analyse que nous pourrions exprimer par une formule analogue à celle-ci :



Mais y a-t-il du soufre dans la liqueur? Alors nous voyons ce même microbe fixer sur le soufre l'hydrogène qu'il a mis en liberté et au lieu de la formule ci-dessus nous aurions :



C'est donc véritablement une synthèse produite sous l'action d'un ferment, synthèse que dans nos

laboratoires nous ne pouvons produire que très-difficilement en volatilissant du soufre par l'étincelle d'induction dans une atmosphère d'hydrogène.

Enfin, M. Luersen (1) rapporte le cas d'un certain bacillus qu'il nomme *beggiotoa*, provoquant comme celui de M. Miquel, la fermentation sulfhydrique. Ce bactérien se présente sous deux aspects, gélatineux et mucilagineux, nage ou se développe au fond des liquides. M. Lotar Mayer aurait, par des expériences faites sur les eaux de Lambeck (Silésie), toujours remarqué une formation d'hydrogène sulfuré, corrélative à la présence de ce bacillus.

2° FERMENTATION DE LA CASÉINE

M. Duclaux (2), chargé par le Ministre de l'agriculture d'étudier les causes des maladies du fromage du Cantal, ne tarda pas à s'apercevoir que ces maladies tenaient uniquement à une fermentation de la caséine sous l'influence de ferments figurés. En effet, de la caséine abandonnée à l'air dans des conditions telles qu'elle soit soustraite à l'action de tous les germes, ne subit aucune des modifications chimiques qui sont le résultat des maladies du fromage.

Cette fermentation est, comme toutes les putréfactions dues à l'action simultanée d'un grand nombre

(1) Luersen. Bot. Med. Pharm. Leipzig 1879.

(2) *Ann. Agronomiques*.

de microbes. M. Duclaux s'est imposé et a heureusement résolu le difficile problème d'isoler tour à tour chacun d'eux pour étudier son action spéciale.

Le moyen employé par M. Duclaux consiste à produire la fermentation de la caséine dans des conditions telles de milieu et de température que l'un des microbes se développe plus vite que les autres.

Si l'on se sert d'une goutte de cette fermentation prélevée au début — c'est-à-dire au moment où le microbe qui se développe le plus facilement a seul eu le temps de proliférer — pour ensemencer une autre culture, et si on recommence un certain nombre de fois la même opération dans les mêmes conditions sur des cultures successives, il arrivera un moment où le microbe dont on poursuit l'étude, sera absolument séparé de tous les autres. On pourra alors étudier son action.

M. Duclaux a d'abord signalé dans le fromage du Cantal la présence de plusieurs ferments connus. Ce sont la levûre alcoolique, les ferments lactique, butyrique et ammoniacal.

La présence de ce dernier a une grande importance théorique, et nous aurons l'occasion d'en reparler à l'occasion des phénomènes chimiques de la pétrification.

M. Duclaux a de plus isolé six microbes nouveaux. Deux d'entre eux seulement ont été étudiés jusqu'à présent par lui.

Le *vibron chainette* se présente lorsqu'il est jeune sous la forme d'un chapelet d'articles cylindriques

filiformes, soudés les uns aux autres au nombre de dix à douze, se mouvant ensemble d'un mouvement onduleux, très-doux, d'autant plus lent que la file est plus longue. La largeur des articles est d'environ un millième de millimètre et leur longueur de cinq à vingt fois l'épaisseur. Quand ils vieillissent ils prennent la forme de boudins plus ou moins irrégulièrement renflés en leur milieu. Ils peuvent donner naissance à des corpuscules-germes.

Le vibron chaînette est plutôt un être anaérobie, cependant il peut vivre en présence de l'oxygène mais plus difficilement.

La température de 25° à 30° est celle qui lui convient le mieux. A l'état de germe il résiste à la température de 100°, mais à l'état de filament mobile, il périt entre 75° et 80°.

Dans le lait il ne s'attaque qu'à la caséine qu'il transforme en une sorte d'albumine soluble, même à chaud, dans une liqueur faiblement acide, précipitable au contraire à l'ébullition dans une liqueur neutre. C'est l'inverse des propriétés de la caséine du lait.

Il se dégage en même temps en assez grande quantité des volumes sensiblement égaux d'acide carbonique et d'hydrogène. Le premier gaz est en léger excès, car, surtout au début de l'opération, une partie de l'hydrogène est transformée en hydrogène sulfuré.

Il se forme aussi de petites quantités de butyrate d'ammoniaque et d'acide butyrique. Le *vibron chaînette* est cependant différent du ferment butyrique, car il

n'a aucune action sur une dissolution de lactate de chaux.

Le deuxième des microorganismes étudiés par M. Duclaux a été désigné, par lui, sous le nom de *filament coudé*. Il se présente sous deux formes différentes.

Développé à la surface d'un liquide albumineux il donne des filaments très-longs et très-ténus sans segmentations transversales et constituant par leur enchevêtrement un voile muqueux demi-solide.

Sous cette forme il donne aux dépens de la matière albumineuse dissoute de l'acide acétique presque pur. Son mode d'action est d'ailleurs différent de celui du *mycoderma aceti*. Il n'y a pas, à proprement parler, fixation d'oxygène.

Le *filament coudé* absorbe bien jusqu'aux dernières traces d'oxygène de l'air, mais il remplace ce gaz par un volume à peu près égal d'acide carbonique.

Dans la profondeur du liquide cet organisme se modifie, sa largeur devient double ou triple, sa longueur peut atteindre 1^{mm} à 1^{mm}5, il se segmente transversalement, et prend un aspect anguleux et coudé qui rappelle celui du ferment de l'amertume dans les vins. Ces filaments sont mobiles quand ils sont jeunes. Ce ferment sous sa seconde forme résiste très-bien à une température de 100° dans une liqueur neutre, il est aérobic comme sous la première. Il transforme sans dégagement gazeux sensible la caséine en une sorte d'albumine qui ne précipite pas la chaleur ni en solution neutre, ni en solution acide,

mais qui jouit de toutes les autres propriétés des matières albuminoïdes. En même temps que cette albumine prennent naissance de petites quantités d'un mélange d'acétate et de valérianate d'ammoniaque où le premier domine, et une matière très-amère.

Telles sont les premières parties du travail de M. Duclaux, nous regrettons vivement que la publication n'en soit pas terminée à l'heure où nous écrivons ces lignes.

C'est le premier pas qui ait été fait dans un ordre de recherches qui seul pourra conduire à une notion exacte du phénomène de la putréfaction, en nous faisant connaître les produits intermédiaires de la décomposition des matières albuminoïdes.

3° PUTRÉFACTION

Nous avons expliqué plus haut que nous désignons sous le nom de putréfaction, les phénomènes de fermentation qui ont pour théâtre les matières albuminoïdes en dehors de l'organisme vivant.

La putréfaction a pour mission d'*analyser* et de restituer à l'atmosphère et au sol et à l'état de gaz et de sels les substances organiques complexes que les êtres vivants, végétaux et animaux, ont *synthétisées* aux dépens de ces mêmes gaz et de ces mêmes sels.

Ce contraste entre la putréfaction et la vie, l'une édifiant ce que l'autre devait détruire un jour, avait frappé l'imagination des anciens métaphysiciens. Pour

eux, les tissus constitutifs de l'être vivant étaient éminemment instables, et s'ils ne se décomposaient pas pendant la vie, cela tenait uniquement à ce que la force vitale était continuellement en lutte avec la force destructive.

La mort annihilant la force vitale, la putréfaction se produisait.

L'histoire de la putréfaction a suivi les mêmes phases que celle des fermentations en général telle que nous l'avons exposée dans le chapitre I^{er}. Il nous semble donc inutile de revenir sur les différentes théories qui ont eu cours dans la suite des siècles et qui ont été définitivement renversées par les expériences de Schwann, de Ure, d'Helmholtz, de Schultz, de Schröder et Dusch et enfin de M. Pasteur.

La théorie de la putréfaction telle que l'a présentée en 1862 ce dernier chimiste (1) est aujourd'hui assez vivement attaquée ; mais comme les adversaires de M. Pasteur se contentent de lui opposer des critiques sans proposer aucune autre théorie pour remplacer celle qu'ils attaquent, c'est cette dernière que nous allons exposer sans aucun parti pris, nous réservant de signaler à la fin de ce chapitre les points défectueux qu'elle peut présenter.

Un premier fait incontestable a été établi par M. Pasteur, c'est que la putréfaction est comme les fermentations, l'œuvre des microbes.

(1) Comptes-rendus, t. LVI. p. 738.

Ferment, sa nature.

Ces microbes d'après M. Pasteur, sont excessivement nombreux ; mais ils peuvent se partager en deux grands groupes.

La couche gélatineuse qui se forme à la surface de tout liquide en voie de putréfaction est composée d'une multitude d'infusoires représentant absolument le dernier degré de l'échelle des êtres. Nous n'énumérerons pas les espèces. Ehrenberg en a compté plus de trente, ce sont le *Monas crepusculum*, le *Bacterium termo* le *catenula*, etc., etc.

Ces microbes sont exclusivement aérobies, si on les examine au microscope, ceux qui sont placés au centre de la goutte d'eau périssent promptement faute d'air, tandis que ceux de la périphérie ont conservé toute leur vitalité.

Dans la masse même du liquide putrescible au contraire, on peut constater au microscope la présence d'une quantité considérable de vibrions plus ou moins analogues au vibron butyrique. Ces vibrions, que MM. Béchamp (1), et M. O. Grimm (2), considèrent comme un état de transformation supérieure des monades de la surface, seraient d'après M. Pasteur exclusivement anaérobies. Si on examine en effet une goutte de liquide au microscope, il se passe précisément le contraire de ce que l'on voit quand on examine les micro-

(1) Comptes-rendus, 1870-1871-1872.

(2) Achir Fur Mikrosk, anat., t. VIII, p. 514.

bes de la surface. Les vibrions qui se trouvent à la périphérie de la goutte dans les parties où l'oxygène a accès deviennent promptement immobiles, tandis que ceux du centre de la goutte, mieux préservés contre l'action de l'air, conservent plus longtemps leurs mouvements.

Voici quel serait le rôle respectif de ces deux groupes de ferments :

Ceux de la surface, très-avides d'oxygène, apparaissent les premiers, et ce n'est que quand ils ont privé le liquide de toute trace d'air que se montrent les vibrions anaérobies.

Dès lors la couche formée par les aérobies à la surface de la solution serait comme une barrière infranchissable à l'oxygène de l'air, grâce à laquelle les vibrions anaérobies pourraient accomplir leur œuvre de ferment sans avoir à craindre l'influence mortelle pour eux de l'oxygène libre.

En définitive, ces deux groupes d'organismes se comporteraient l'un comme la levûre de bière par exemple, l'autre comme le *mycoderma aceti*. Leur rôle chimique est différent comme leur mode de vie.

Si l'on veut étudier exclusivement l'un ou l'autre des deux groupes, il faut varier les conditions de l'expérience.

Une fermentation butyrique en activité, opérée à l'abri de l'air telle que nous l'avons décrite dans le précédent chapitre, nous représente très-bien le mode d'action des vibrions.

Ils agissent donc, d'après M. Pasteur, en l'absence de l'oxygène et comme tous les ferments par le fait même de cette vie sans air.

Il semble y avoir dans ce fait une contradiction étrange. La levûre de bière en présence de l'air libre se développe en absorbant de l'oxygène, on peut donc à la rigueur comprendre que, puisqu'elle en a absolument besoin pour vivre, plongée dans une solution de sucre elle en emprunte à ce sucre.

Mais les vibrions de la putréfaction sont tués par l'oxygène libre. Comment admettre qu'ils soient assez avides d'un corps qui, pour eux est un poison, pour se l'approprier en en dépouillant les corps qui en contiennent.

A cette objection, M. Pasteur répond : C'est précisément parce que ces vibrions sont extraordinairement avides d'oxygène que quand ils se trouvent en présence de ce gaz à l'état de liberté, il sont brûlés par lui.

Les germes de ces vibrions, ces corpuscules brillants dont nous avons parlé à propos de la fermentation butyrique, redoutent beaucoup moins le contact de l'oxygène libre que les vibrions adultes, et ce sont ces germes qui, répandus dans l'air, vont ensemencer les masses organiques et y exciter la putréfaction.

M. Feltz (1) fait sur les vibrions du sang putréfié septique, d'intéressantes expériences qui mettent en

(1) Comptes-rendus, 1875, 1877, 1878.

lumière cette différence de résistance à l'oxygène des vibrions et de leurs germes.

Il a vu que le sang putréfié septique mis en contact avec de l'oxygène pur semble perdre de sa toxicité. Les mouvements des vibrioniens s'y ralentissent.

Dans le même sang mis en contact pendant trente et cinquante jours avec de l'oxygène comprimé, les vibrions ont été tués, mais les germes de vibrions ont été trouvés intacts.

Enfin, si l'on prolonge encore plus longtemps l'action de l'oxygène très-comprimé, on obtient le même effet qu'en élevant le sang putréfié septique à une température de 150°, on tue à la fois les vibrions et les germes.

Le rôle chimique de ces microbes dont l'action ne s'exercerait qu'en l'absence de toute trace d'oxygène (nous verrons tout à l'heure des expériences qui semblent contredire absolument cette manière de voir), leur rôle chimique, disons nous, consiste à dédoubler les matières albuminoïdes en produits gazeux, et en corps chimiques de constitution plus simple, corps sur lesquels les vibrions n'ont plus d'action, mais que les bactéries de la surface vont brûler à l'aide de l'oxygène de l'air, tout comme le *mycoderma aceti* brûle l'alcool fabriqué aux dépens du sucre par le *saccharomyces cerevisiae*.

Revenons maintenant aux bactéries de la surface.

Si on sème ces bactéries sur un liquide nutritif approprié, étalé en couches minces, elles s'y développeront très-bien, et ce liquide approprié n'a pas

besoin d'être bien complexe. Un corps hydrocarboné de l'ammoniaque, un peu de phosphate de chaux et de potasse, un peu de sulfate de magnésie et l'oxygène de l'air, voilà tous les matériaux qu'elles exigent pour leur développement. Il suffit que le corps hydrocarboné puisse dégager par sa destruction une quantité de chaleur suffisante. Ainsi, dans le tartrate d'ammoniaque, les bactéries se développent fort bien, elles peuvent vivre encore dans l'acétate d'ammoniaque d'après MM. Dupont et Hoogewerf, mais le formiate et l'oxalate d'ammoniaque et à *fortiori* le carbonate sont incapables de leur servir d'aliment.

Le rôle de ces bactéries est complémentaire de celui des vibrions anaérobies, elles brûlent, en empruntant le concours de l'oxygène de l'air, les produits qui résultent du dédoublement des albuminoïdes sous l'influence de ces derniers. Leur rôle serait aussi comme nous l'avons déjà dit de protéger les anaérobies de l'action toxique de l'oxygène libre.

Une putréfaction à l'air sera donc toujours plus complète qu'en vase clos, puisque dans ce dernier cas les vibrions seuls agissent, les bactéries de la surface ne pouvant vivre et se développer qu'en présence de l'oxygène libre.

Telle est la théorie de la putréfaction, conçue M. Pasteur. A propos des causes qui peuvent influencer nous aurions à faire quelques réserves sur certaines idées peut-être trop absolues de l'auteur, et qui ne semblent pas d'accord avec les expériences récentes.

Mais il convient auparavant pour suivre l'ordre que nous nous sommes imposé dans l'étude de chaque fermentation d'étudier la nature des réactions chimiques qui se réalisent dans le phénomène de la putréfaction.

Rôle chimique du ferment.

L'étude des phénomènes chimiques de la putréfaction, est encore bien imparfaite.

Les corps fermentescibles sont les matières albuminoïdes, corps essentiellement complexes, dont la constitution, hier encore absolument inconnue, peut aujourd'hui être soupçonnée à la suite des beaux travaux de M. Schützenberger.

Ces corps sont, à n'en pas douter, comme les corps gras, formés par un groupement de plusieurs corps chimiques à fonctions différentes.

Chacun des groupements qui entrent dans la constitution de la formule — encore inconnue — du corps albuminoïde peut sans doute donner lieu, sous l'action du même ferment, à une réaction particulière.

Et ce n'est pas un seul ferment qui opère sur une matière albuminoïde en putréfaction, c'est une multitude d'organismes à fonction différente, qui en agissant simultanément sur la même substance, peuvent donner naissance aux produits les plus divers.

Ajoutons à cela que la majeure partie de ces produits, détruits au fur et à mesure de leur production par un organisme autre que celui qui leur a donné

naissance, échappent à l'analyse immédiate la plus minutieuse, et nous comprendrons l'extrême difficulté du problème à résoudre.

Nous ne pouvons donc en l'état actuel de la science que signaler les corps dont on a constaté l'existence dans les produits de la putréfaction, mais, quant à expliquer par quelles séries de transformations ces corps ont pris naissance, quant à vouloir nouer par des anneaux intermédiaires, la chaîne dont nous tenons à peine les deux extrémités, nous sommes dans l'impossibilité absolue de le faire.

Les corps qui se forment dans la putréfaction sont de deux ordres : les corps gazeux, qui se répandent dans l'atmosphère, et les corps solides et liquides qui se retrouvent dans la masse putréfiée.

Les corps gazeux auxquels on attribue, d'une manière peut-être trop exclusive, l'odeur infecte de la putréfaction, sont de l'azote, de l'hydrogène carboné, de l'hydrogène sulfuré, de l'ammoniaque pure ou unie à l'acide carbonique, à l'hydrogène sulfuré, à des acides gras.

Il se dégagerait aussi d'après certains auteurs de l'hydrogène phosphoré ; d'autres sont plus disposés à admettre que le phosphore des matières albuminoïdes donne naissance à des composés analogues aux phosphines.

Dans la masse putréfiée on trouve de la leucine, de la tyrosine, des acides gras, volatils (formique, acétique, proprionique, butyrique, valérique, caproïque, etc.), de l'acide lactique, de l'ammoniaque et des

ammoniaques composées (éthylamine, propylamine, amylamine, triméthylamine).

Uncertain nombre de ces produits peuvent se former aux dépens du glucose ou des corps hydrocarbonés qui se trouvent toujours en certaine quantité dans les corps fermentescibles.

Il en est aussi des acides lactique, butyrique, carbonique, de l'hydrogène et des différents acides gras dont la formation, d'après M. Monoyer, pourrait se représenter au moyen de la formule suivante :

$$\frac{n-1}{3} (C^6 H^{12} O^6) = C^n H^{2n} O^2 + (n-2) C H^2 O^2$$

D'après le même auteur, l'acide formique se décomposerait ensuite en acide carbonique et en hydrogène.

Mais tous les produits que nous avons cités plus haut, peuvent se former dans la fermentation des matières albuminoïdes pures en l'absence de tout corps hydrocarboné.

Par suite de quelles réactions cette formation a-t-elle lieu ? Nous ne pouvons répondre à cette question que par des hypothèses.

Tout d'abord, il ne faut pas perdre de vue qu'il se passe dans toute putréfaction deux ordres de phénomènes :

1° A la surface, oxydation très-vive, puisque, dans presque tous les engrais, on a pu constater la présence d'acide nitrique formé probablement aux dépens de

l'ammoniaque, sous l'influence du ferment découvert par MM. Schloësing et Muntz ;

2° Dans la profondeur de la masse, phénomènes complexes, mais sans oxydation, et quelquefois même réduction énergique, puisque dans des tas de fumiers qui avaient été plâtrés, on a trouvé, à l'école de Grignon, des cristaux de soufre.

Il est d'ailleurs indiscutable que, sous l'influence de la putréfaction, les sulfates se transforment en sulfures.

Mais dans cette couche profonde, le phénomène qui paraît dominer est un phénomène d'hydratation.

Jetons, en effet, les yeux sur la liste que nous avons donnée plus haut des produits les plus habituels de la putréfaction. Nous sommes frappés de voir que ces produits sont précisément ceux qui se forment quand on traite les matières albuminoïdes, soit par l'acide sulfurique étendu, soit par la potasse, soit par l'hydrate de baryte.

En étudiant l'action de l'hydrate de baryte sur les matières albuminoïdes, M. Schützenberger (1) est arrivé à cette conclusion, que ces substances contiennent les éléments de l'urée, et peuvent, par conséquent, être considérées comme des uréides composées.

Quatre atomes d'azote sur dix-huit, à peu près, seraient contenus dans l'albumine à l'état d'urée.

(1) *Bulletin de la Société chimique*, 15 février, 5 mars et 15 mars 1875.

Une simple fermentation ammoniacale, identique à celle qui se passe dans l'urine, expliquerait donc la formation d'une partie de l'ammoniaque et de l'acide carbonique. Cette ingénieuse hypothèse de M. Schützenberger a été vérifiée par un récent travail de M. Duclaux. Ce chimiste a pu faire développer, dans une solution d'albumine, le ferment ammoniacal de l'urine, et il a constaté que la proportion d'ammoniaque, formée sous l'influence des microbes, répondait précisément à la proportion d'urée, dont M. Schützenberger admet l'existence dans l'albumine.

Les corps produits par une première hydratation des albuminoïdes peuvent ensuite subir, sous l'influence des ferments, une décomposition plus profonde.

Ainsi la leucine, qui est un produit constant de la putréfaction et de l'hydratation artificielle des albuminoïdes, peut se transformer, sous l'influence des ferments, en ammoniaque et acide valérique.



Nous pouvons aussi reproduire par des moyens purement chimiques les phénomènes d'oxydation auxquels donne lieu la putréfaction.

C'est ainsi que l'oxydation de l'albumine par le bichromate de potasse et l'acide sulfurique donne naissance entre autres produits à toute la série des acides gras.

M. Selmi, de Bologne (1), a signalé la présence dans les cadavres en putréfaction d'un certain nombre d'alcaloïdes qu'il a appelés *ptomaines*, et dont les réactions pourraient induire en erreur dans les recherches toxicologiques.

MM. Orfila et Lesueur dans leur traité des exhumations juridiques, M. Devergie et plusieurs autres toxicologistes ont étudié avec beaucoup de soins les formes différentes qu'affecte la putréfaction des corps humains suivant les conditions dans lesquelles s'effectue cette putréfaction. Mais comme ces auteurs se sont surtout préoccupés de l'aspect extérieur, de la couleur, de l'odeur, de la consistance du cadavre, et fort peu de ses transformations chimiques, leurs travaux ont peu d'intérêt pour nous. Un seul fait nous paraît digne d'être mentionné ici, c'est la formation de graisse aux dépens des matières albuminoïdes.

La présence dans les corps en décomposition de ce que nous appelons aujourd'hui le gras de cadavre avait été déjà mentionnée par Fourcroy qui lui avait donné le nom d'*adipocire*.

Cette dégénérescence grasseuse ne semble pas être produite exclusivement par la putréfaction. Elle peut être le résultat d'un dédoublement chimique des substances protéiques produites dans le cours même de la vie. Est-il possible, en effet, de faire intervenir le rôle des ferments dans certaines dégénérescence grasseuses, comme celle du foie sous l'influence

(1) *Moniteur scientifique*, 3^e série, t. VIII, p. 499 et 1400.

de l'empoisonnement par le phosphore ou du testicule après l'opération du bistournage? (1)

La présence de l'hydrogène phosphoré dans le gaz de la putréfaction n'est pas admise par tous les auteurs.

On sait que c'est à ce gaz spontanément inflammable quand il est mêlé de phosphore d'hydrogène liquide que l'on attribuait autrefois les phénomènes de phosphorescence qui se manifestent au début des putréfactions.

Or, M. Jules Lefort (2) ayant recueilli dans du nitrate d'argent les gaz de la putréfaction, ne trouva pas trace de phosphore dans ces gaz, d'où la conclusion qu'il ne se dégage pas d'hydrogène phosphoré dans la putréfaction et que, par conséquent, on ne peut attribuer à ce gaz les phénomènes de phosphorescence.

M. Jules Lefort a donc dû recourir à une autre hypothèse, mais celle à laquelle il s'est arrêté semble au premier abord assez étrange.

D'après cet auteur, en effet, le soufre des albuminoïdes agirait sur le phosphore de la lécithine, pour donner naissance à du phosphore de soufre spontanément inflammable.

Les arguments sur lesquels M. Lefort base sa théorie n'ont rien d'absolument convaincant.

Quoi qu'il en soit, il semble bien établi par le même travail de M. Lefort, qu'en aucun cas des phosphates

(1) Chauveau. *Comptes-rendus*, t. LXXVI, p. 1092.

(2) *Bull. de l'Acad. de méd.*, 2^e série, t. III, p. 141.

ne peuvent être réduits dans le processus de la putréfaction. Signalons en passant ce fait qui a une grande importance au point de vue toxicologique.

Un chimiste anglais, M. Phipson, a trouvé sur la peau d'une raie, une substance huileuse non phosphorée, luisant sous l'eau, dont il a également constaté la présence dans le corps de certains insectes vivants très-phosphorescents, et il émet l'idée que ce composé est le même que celui qui produit la phosphorescence dans les matières en putréfaction.

M. Lefort a cherché à isoler ce corps, auquel M. Phipson donne le nom de *noctilucine*, dans les matières animales en putréfaction, sans pouvoir y parvenir.

Comme on le voit la question de la phosphorescence n'est pas définitivement tranchée. Les frères Cooper ont observé que les parties phosphorescentes du cadavre conservaient plusieurs jours cette propriété dans l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, l'oxyde de carbone ; qu'elles la perdaient dans l'hydrogène sulfuré et la laissaient s'affaiblir dans l'acide carbonique.

Causes qui peuvent influencer la putréfaction. — Bien des causes peuvent influencer la fermentation des corps albuminoïdes.

En premier lieu, il convient de citer l'action de la chaleur. Au-dessous de 0° les matières protéïques peuvent se conserver indéfiniment. Pallas a découvert en Sibérie, des corps entiers de mammouths ensevelis dans les glaces, et dont les chairs s'étaient conservées

intactes pendant des milliers d'années. A partir de 6° ou 7° la fermentation se manifeste pour acquérir son maximum d'activité entre 20° et 35°; de 60° à 70° elle diminue pour s'arrêter définitivement à une température un peu plus élevée.

Une fois commencée, la putréfaction est par elle-même une source de chaleur. C'est ainsi que le fumier de ferme peut atteindre une température de 40° et plus, si bien qu'on est obligé de l'arroser de temps en temps pour éviter sa destruction trop rapide.

On a vu quelquefois des masses végétales, telles que du foin enfermé trop humide dans le fenil, donner lieu à une production de chaleur suffisante pour en amener l'embrasement.

L'humidité joue aussi un grand rôle dans la putréfaction : les matières les plus putrescibles une fois desséchées, peuvent se conserver indéfiniment.

Cette propriété a été utilisée dans l'industrie ; le procédé Masson pour la conservation des légumes consiste à les priver d'eau par l'action combinée d'une température de 35° et de la compression.

Un grand nombre de substances chimiques ont la propriété d'empêcher la putréfaction.

Nous ne pouvons qu'en citer quelques-unes : Ce sont le sucre, l'alcool, le sel marin, les acides phénique et crésylique, la fumée dont l'action semble due surtout à la présence de ces deux derniers corps, les goudrons, l'asphalte, les sels d'alumine, les sulfites et hyposulfites alcalins, les sels de zinc, les sels de mercure, l'acide chromique, les persels de fer, le

bichlorure d'étain, le chlorure de baryum, les silicate et borate de soude, l'acide arsénieux, l'acide sulfureux, l'acide oxalique; dans certains cas, le tannin, le chloral, l'acide cyanhydrique, les carbures dérivés de la houille, les essences odorantes, etc., etc.

Il ne faut pas confondre ces corps qui sont des *antiseptiques* et dont la propriété est d'empêcher la fermentation de se produire avec les corps *désinfectants* qui agissent simplement en détruisant les produits infects et surtout les gaz de la putréfaction.

Les uns les oxydent comme le chlore, les hypochlorites, le permanganate de potasse, l'acide sulfureux; d'autres absorbent, comme le charbon et un certain nombre de sels métalliques qui sont en même temps des antiseptiques.

S'il est des substances qui peuvent empêcher la putréfaction, d'autres au contraire semblent la faciliter, et comme type de ces dernières, nous citerons le phosphate de chaux, dont l'action a été bien étudiée par M. Jules Lefort (1).

M. Collas (2) avait déjà vu en 1865 que si l'on ajoute une petite quantité de phosphate de chaux à de la viande ou à de la colle de poisson, celle-ci se putréfie beaucoup plus vite.

M. Lefort a vérifié ce fait et il a constaté de plus, en remplaçant dans des expériences analogues le phosphate de chaux par un grand nombre d'autres

(1) *Bul. de l'Acad. de Méd.*, 2^e série, t. III, p. 141.

(2) *Moniteur scientifique*, t. VIII, p. 365.

sels, qu'aucun d'eux ne possédait à si haut degré le le pouvoir d'exciter la putréfaction.

Les chairs qui contiennent du phosphate de chaux doivent donc s'altérer plus vite que les autres, l'expérience justifie cette déduction ; la chair de poisson s'altère plus vite que celle des mammifères. Or, l'analyse constate une proportion de 44 gr. 34 0/0 de phosphate de chaux dans de la cendre de perche, tandis que de la cendre de veau n'en contient que 16,40 0/0.

Et pourtant, — fait à noter — la chair des mammifères contient 1/3 de plus de phosphates alcalins que celle des poissons, ce qui prouve que le phosphate de chaux et non les autres phosphates possède ce pouvoir excitateur de la putréfaction.

Il arrive quelquefois que la putréfaction s'arrête d'elle-même. Plusieurs explications ont été données de ce fait.

D'après M. Pasteur, si la putréfaction devient très-active, il se dégage de grandes quantités d'acide carbonique, si bien que ce gaz arrive à former au-dessus du corps putrescible une couche imperméable à l'oxygène de l'air. Dès lors les microbes aérobies de la surface qui ne peuvent vivre qu'aux prix d'une grande dépense d'oxygène, s'arrêtent dans leur œuvre destructive. Mais quand la couche d'acide carbonique s'est dissipée, la putréfaction reprend son cours.

Il est encore une autre action qui peut contribuer à arrêter la putréfaction ; il ne serait pas impossible, en effet, que les produits de la putréfaction fussent vénéneux pour les microorganismes qui la produisent.

C'est l'opinion de Crace Calvert, de Thomsson, de Nencki, de Kingzett et de plusieurs autres observateurs.

C'est d'ailleurs un fait général dans l'histoire des fermentations. M. Lemaire, cité par M. Armand Gautier, dans l'article « putréfaction » du dictionnaire de Würtz, a observé que, ce phénomène varie dans sa nature suivant que le milieu est neutre, alcalin ou acide. Dans les deux premiers cas la masse putrescible est envahie par des vibrions, dans le dernier cas par des mycodermes, comme cela se passe pour les fruits sucrés. Il suffit de quelques millièmes à peine d'un acide quelconque, et d'une faible proportion d'acide carbonique pour arrêter le développement des infusoires.

Nous terminerons ce paragraphe par quelques considérations sur la question si controversée de l'influence de l'oxygène sur la putréfaction

Il ne saurait être un instant mis en doute que les bactéries de la surface dont le rôle est d'oxyder les substances dans lesquelles elles vivent aient absolument besoin du contact de l'air. Mais, d'après M. Pasteur, les vibrions de la profondeur du liquide sont exclusivement anaérobies, et ils ne peuvent accomplir leur œuvre de ferment que dans un milieu absolument privé d'oxygène.

Des expériences de Nencki semblent confirmer la manière de voir de M. Pasteur.

D'autre part, M. Kingzett (1), dans un travail qui ne date que de trois mois, imprime cette phrase :

« A mesure que mes expériences continuent, elles confirment le fait (tant de fois discuté) que la putréfaction peut se commencer et se développer sans oxygène et concordent avec celles de Nencki pour affirmer que l'histoire de la fermentation est conforme à celle de Pasteur »

Nous avons cru devoir enregistrer cette affirmation, bien qu'il nous soit impossible de fonder aucun argument sur une assertion encore sans preuve, d'autant que des expériences très-sérieuses semblent démontrer précisément le contraire.

Il y a nombre d'années qu'Hildebrand et de Sausure ont observé que dans le gaz hydrogène les matières animales ou végétales peuvent se putréfier et dégager de l'acide carbonique, mais que cette destruction moléculaire ne se produit que sur une minime quantité de substance. Elle languit bientôt et s'arrête.

Plus tard M. Lemaire (2) a vu que la farine mouillée ou la viande abandonnée dans des ballons scellés pleins d'air subissent un commencement de putréfaction, mais que celle-ci ne se poursuit pas.

Il a conclu de ses observations qu'un accès modéré de l'air est indispensable à la putréfaction.

Mais les expériences les plus concluantes dans ce sens sont celles de M. Gunning (3).

(1) *Bulletin scientifique*, 3^e série, t. X, p. 451.

(2) *Comptes-rendus*, t. LVII, p. 958 et t. LIX, p. 696.

(3) *Comptes-rendus*, t. LXXXVII, p. 31.

D'après le chimiste hollandais, dans tous les milieux privés d'oxygène par les moyens généralement employés par M. Pasteur, un réactif très-sensible le ferro-cyanure ferreux décèle toujours des traces de ce gaz.

Donc les expériences de M. Pasteur ne sont pas probantes.

Mais M. Gunning va plus loin :

Il met dans un ballon fermé à la lampe un liquide putrescible quelconque, sang, bouillon, lait, viande, albumine, ou urine alcalinisée par la potasse (Il résulte des expériences de Bastian que ce dernier liquide est éminemment fermentescible) et l'ensemence au préalable, avec quelques gouttes d'une putréfaction en activité.

Quand alors il porte le ballon à l'étuve à 38°-40° il voit que la fermentation très-active au début se ralentit puis s'arrête complètement, et cet arrêt se produit d'autant plus vite qu'il y a moins d'oxygène dans le flacon.

Jusque-là l'expérience ne diffère guère de celle de M. Lemaire, mais voici le point nouveau qu'a mis en lumière M. Gunning : si en ce moment on laisse pénétrer dans le ballon de l'air privé de germes, la putréfaction ne reprendra pas son cours.

Elle est définitivement arrêtée.

Si au lieu de fermer le ballon à la lampe, on se contente d'effiler son col, on peut, pour ainsi dire, régler la putréfaction et la rendre plus ou moins

active, suivant qu'on facilite ou qu'on entrave l'accès de l'air.

M. Gunning tire de son travail les conclusions suivantes :

1° La présence de l'air est indispensable à la putréfaction ;

2° Les êtres supposés anaérobies par M. Pasteur meurent quand ils n'ont pas à leur disposition de l'oxygène libre.

A ce travail, qui ne tendait à rien moins qu'à renverser toute sa théorie, M. Pasteur a répondu que si la fermentation s'arrête, ce n'est pas parce que les microbes sont morts, mais parce qu'ils se sont transformés en germes.

Il nous semble que, si la supposition de M. Pasteur était exacte, en laissant rentrer dans les ballons, de l'air privé de germes, rien ne s'opposerait à ce que la putréfaction reprit son cours.

Entre M. Pasteur et ses contradicteurs nous éviterons d'ailleurs de nous prononcer.

En ce moment où l'attention des chimistes est portée vers les phénomènes de fermentation, un jour, qui n'est peut-être pas bien éloigné, peut voir se produire des découvertes de nature à renverser le lendemain la théorie de la veille. Si Claude Bernard eut vécu quelques mois de plus, peut être nos idées sur l'ordre de phénomènes qui nous occupent seraient absolument modifiées.

Les discussions, stériles comme résultat, qui ont eu lieu dans le cours de ces dernières années dans le

sein de nos sociétés savantes, prouvent que les expériences amassées jusqu'à ce jour ne constituent pas encore un piédestal assez inébranlable pour y construire une théorie solide.

L'heure est donc aux recherches, et non aux vues spéculatives. Suivons le conseil de Buffon, et « rassemblons des faits pour avoir des idées. »

*Phénomènes de décomposition des matières albuminoïdes
en l'absence des ferments figurés.*

Peut-il y avoir putréfaction en l'absence des ferments figurés ?

Nous ne pouvons mieux répondre à cette question qu'en analysant rapidement les discussions auxquelles a donné lieu le phénomène de la putréfaction des œufs.

Réaumur (1), Geoffroy Saint-Hilaire (2), Prévost et Dumas (3), Sacc (4), Dareste (5), dans des expériences très-variées sur le développement de l'embryon avaient constaté que dans des conditions extérieures semblables, d'une part certains œufs pourrissent, et d'autres restent sains ; d'autre part des embryons

(1) Art de faire éclore et d'élever en toutes saisons des oiseaux domestiques. *Passim*.

(2) *Mémoires du Muséum*, t. IX, p. 14.

(3) *Ann. des sciences natur.*, t. IV, p. 51.

(4) *Ann. des sciences natur.* (3), t. VIII, p. 171.

(5) *Ann. des sciences natur.* (4), zoologie, t. XV, p. 5, et t. XVII, p. 31.

de poulets morts dans leurs coques peuvent se décomposer avec tous les caractères d'une putréfaction repoussante ou se conserver sans dégager la moindre odeur fétide. Aucun de ces observateurs n'a d'ailleurs pu expliquer d'une manière satisfaisante la cause de ces différences.

M. Donné, à la suite d'une longue série de travaux (1), arrive aux conclusions suivantes :

Des œufs naturels non agités, abandonnés à eux-mêmes pendant les grandes chaleurs de l'été, ne subissent aucune altération putride.

Au contraire, si par des secousses on rompt la trame des corps albumineux, et si on opère ainsi le mélange du jaune et du blanc, alors, même en empêchant l'accès de l'air par une couche de collodion à la surface de l'œuf, on voit apparaître tous les phénomènes de décomposition.

Cette putréfaction se produit sans qu'il soit possible de distinguer [au microscope le moindre microorganisme. Il en est de même de la putréfaction de l'embryon dans sa coquille.

M. Béchamp (2) admet aussi la non existence d'organismes inférieurs dans les œufs pourris, et il attribue la putréfaction à l'action des microzymas.

M. U. Gayon (3) dans un remarquable travail a

(1) Comptes-rendus, t. LVII, p. 450, t. LVIII, p. 952, t. LXIII, p. 301 et 1072, t. LXIV, p. 45, t. LXV, p. 602.

(2) Comptes-rendus, t. LXVII, p. 523, t. LXXXV, p. 962, t. LXXXVI p. 1143.

Ann de chim, et de phys. (4), t. VI, p. 251.

(3) *Thèse de la Faculté de Paris*, 1875. N° 362.

repris la question de la putréfaction des œufs, et aboutit à une conclusion exactement opposée à celle de M. Donné.

D'après M. Gayon, l'influence de l'agitation sur la putréfaction est fort douteuse.

Dans tous les cas où il y a eu putréfaction évidente, il a trouvé des microbes accumulés surtout sur le plancher de la chambre à air.

Ces microbes sont très-difficiles à voir au microscope, car leur indice de réfraction est sensiblement égal à celui de l'albumine. Il faut pour les étudier employer divers subterfuges, par exemple étendre d'eau l'albumine pour diminuer son pouvoir réfringent.

M. Gayon a même poussé plus loin son étude, car il affirme avoir distingué dans les œufs à coque mince putréfiés comme dans toutes les putréfactions deux espèces d'organismes : A la périphérie des bactéries *aérobies* dans l'épaisseur des vibrions *anaérobies*.

Dans les œufs à coque trop épaisse pour que l'oxygène de l'air puisse facilement la traverser, ou dans les œufs que l'on fait pourrir dans un milieu d'acide carbonique ou d'hydrogène, les vibrions seuls se développent.

Cette différence dans les agents de la putréfaction correspond à une différence dans les réactions chimiques.

Dans les deux cas le sucre disparaît, il se forme des acides volatils présentant l'odeur de l'acide butyrique, des produits alcooliques, et l'acide carbonique,

de l'hydrogène sulfuré, de l'ammoniaque, de la triméthylamine, de la leucine et de la tyrosine.

Dans les œufs pourris à l'air, l'odeur de l'hydrogène sulfuré domine et la réaction de l'œuf est légèrement acide.

Dans les œufs pourris à l'abri de l'air, l'odeur, très-repoussante, semble due à un mélange de sulfhydrate d'ammoniaque, de phosphures d'hydrogène, et d'ammoniaques composées. La réaction reste toujours alcaline.

M. Gayon a constaté aussi la présence de micro-organismes dans la putréfaction de l'embryon dans sa coque.

Cette forme de fermentation n'est pas la seule à laquelle soient exposés les œufs.

Ils peuvent être envahis par les moisissures qui y provoquent des phénomènes spéciaux, elles peuvent subir aussi une sorte de fermentation acide donnant naissance à de l'acide acétique sous l'influence d'un microbe particulier.

D'où proviennent ces organismes ? On sait que, pour M. Pasteur, ils pénètrent dans l'œuf à l'état de germes au moment même de sa formation. L'oviducte de la poule renferme, en effet, de grandes quantités de ces germes, qui ont pu y pénétrer de différentes manières, par exemple par l'intermédiaire du pénis du coq pendant la copulation.

M. Gayon a constaté dans certains œufs maintenus à 25° une modification toute spéciale. Leur masse a une teinte jaune sale, une odeur de matières animales

sèches, une grande fluidité malgré les aiguilles cristallisées qu'elle renferme en grand nombre et malgré les particules solides qui proviennent de la désagrégation du vitellus. Les quantités de leucine et de tyrosine formées sont bien supérieures à celles qui existent dans les œufs pourris. Les matières grasses semblent avoir diminué. La présence de l'oxygène atmosphérique n'est pas nécessaire à la production de cette altération.

Dans les œufs ainsi décomposés, M. Gayon n'a pas trouvé trace de microbes.

Nous pouvons donc nous demander, comme au début de ce chapitre : Y-a-t-il putréfaction en dehors des ferments figurés ?

Non, il n'y pas putréfaction proprement dite : mais songeons que toute masse organique privée de vie se trouve placée par cela même dans des conditions toutes différentes de celles dans lesquelles elle se trouvait quand elle faisait partie d'un organisme vivant. Dans ces conditions nouvelles, il est impossible qu'il ne se produise pas entre les différents principes immédiats qui composent cette masse organique des réactions chimiques particulières, dues au simple contact de ces substances.

On peut admettre aussi une sorte de vie de la cellule, se prolongeant au-delà de la mort de l'ensemble. Cette cellule, par suite des conditions nouvelles où elle se trouve placée, pourrait donner lieu — comme dans l'expérience de M. Pasteur sur les prunes, — à la formation de corps nouveaux.

Nous ne saurions mieux clore ces considérations qu'en citant les réflexions émises par M. Wûrtz à l'académie de Médecine (1) au cours d'une discussion sur les phénomènes qui se passent dans le cerveau après la mort et avant l'envahissement des microbes.

« Il est évidemment impossible dit, M. Wûrtz, que le cerveau reste intact jusqu'au moment où pénètrent les germes extérieurs. Le cerveau dans cette période subit une modification particulière, il perd sa consistance, et devient diffuent. Pendant la vie le sang et l'oxygène y arrivaient sans cesse; la mort survenant, la circulation s'arrête, mais les réactions chimiques continuent; seulement elles changent de signe, car l'organe, qui pendant la vie est en quelque sorte baigné d'oxygène, se trouve maintenant soumis à l'influence de l'acide carbonique. Ce sont là des conditions toutes nouvelles » puis, après avoir cité l'expérience de M. Pasteur sur les prunes, M. Wurtz ajoute : « Quelque chose d'analogue se passe dans le cerveau au moment de la mort. L'oxygène n'arrive plus, il est remplacé par l'acide carbonique et de nouvelles réactions se produisent. Ce sont des décompositions, des fermentations peut-être, mais différentes de la vraie putréfaction, qui n'arrive que plus tard. En résumé le cerveau présente dans ces conditions des réactions chimiques différentes de celles de la vie, mais différentes aussi de celles qui se produiront ultérieurement

(1) Séance du 3 mars 1874.

sous l'influence des germes de la putréfaction proprement dite » .

Pour nous, comme pour M. Wûrtz, comme pour M. Pasteur, il n'existe de putréfaction que sous l'influence des ferments figurés.

4° FERMENTATION DES MATIÈRES ALLUBIMINOÏDES CHEZ L'ÊTRE VIVANT

Nous venons d'étudier les phénomènes de putréfaction dans le cadavre, végétal ou animal. Les principes protéiques de la plante morte, comme ceux de l'animal mort, ont, avec le concours d'une humidité suffisante, subi une désagrégation moléculaire, en un mot le phénomène de la putréfaction déterminé par la présence des microbes.

Nous avons vu deux sortes d'infusoires, d'après les recherches de M. Pasteur, entrer en jeu et produire ces décompositions. Les uns, vibrions, transforment à l'abri de l'air les matières albuminoïdes; les autres, bactéries et mucédinées, oxydent les produits de décomposition comme le *mycoderma aceti* oxyde l'alcool.

Chez les êtres vivants, nous constatons l'apparition de phénomènes plus ou moins semblables, et des microbes analogues aux vibrions peuvent produire des désordres à peu près comparables à la putréfaction. D'autres, au contraire, sont susceptibles d'enlever l'oxygène des globules rouges du sang, comme les

bactéries enlèvent à l'air son oxygène pour le fixer sur des principes, et en déterminer peu à peu la combustion.

La *pébrine* des vers à soie n'est-elle pas autre chose qu'une putréfaction d'un certain genre. Les corpuscules de cette pébrine, dont le rôle et l'évolution dans le cours de la maladie des vers a été étudié par M. Pasteur, se développe d'abord dans la tunique anhiste de l'intestin, puis de là pénètre dans les autres organes, où ils se multiplient avec une rapidité effrayante. Dans certains vers, tous les tissus sont pénétrés, les nerfs, les muscles, les organes digestifs, les glandes de la soie, tout est envahi. Les éléments normaux, en tout ou en partie détruits, disparaissent sous l'influence du développement de ce parasite.

Malgré cela le ver ne meurt pas, il ne grossit plus, se rapetisse de plus en plus, et lorsqu'enfin la vie l'abandonne, son corps tout entier s'est transformé en une bouillie de corpuscules.

Les nouvelles substances chimiques qui apparaissent aux dépens des matériaux des albuminoïdes du ver à soie, en même temps que cette multiplication effrayante de microbes n'ont pas été étudiées. On ne peut *à priori* contester une destruction profonde, et admettre une conservation des éléments normaux; c'est ce que l'analyse immédiate permettra de préciser dans l'avenir.

Dans la *muscardine*, maladie qui atteint aussi le ver à soie et d'autres insectes, les transformations chimiques sont très-rapides, et déterminées par des

moisissures, découvertes par Bassi et nommées *Botrytis bassiana*. Le ver à soie devient dur comme la pierre, il est totalement envahi par le parasite, mais les réactions chimiques sont encore à étudier.

A côté de la pébrine, de la muscardine, une autre maladie peut sévir sur les vers à soie, c'est celle qu'on désigne sous le nom de *flacherie*, et qu'a longuement décrit M. Pasteur. On ne retrouve plus ici les corpuscules caractéristiques de la pébrine, mais d'autres organismes qui se rapportent à deux variétés; les uns sont des vibrions, analogues aux vibrions de la putréfaction, plus ou moins longs, tenus souvent très-agiles, avec ou sans noyaux dans leurs intérieurs; les autres sous forme de chapelets, de petits grains sphériques, quelquefois légèrement étranglés à la manière du *mycoderma aceti* naissant.

Dans cette maladie voici quel paraît être le rôle de ces microbes. Des séries de cellules sont introduites dans le tube digestif par l'intermédiaire des feuilles de mûrier, et si pour une cause quelconque l'intestin du ver est affaibli, débilité, la feuille fermente sous l'action du microbe, la digestion n'a pas lieu. Cette fermentation s'opère dans l'estomac comme elle se ferait dans un vase où l'on aurait introduit de la même feuille de mûrier délayée et triturée dans un peu d'eau. Si le microbe en chapelet est seul la maladie est rarement mortelle, le ver reste languissant, et finit toujours par faire une sorte de cocons. Mais si les vibrions existent simultanément dans l'intestin, l'organisme est bientôt envahi par une sorte de putréfaction

qui détermine la mort. Le ver noircit, ses tissus se putréfient et il est impossible de le toucher sans qu'il se résolve en une sanie infecte, ou les vibrions fourmillent en nombre extraordinaire.

Les matériaux azotés doivent subir dans cette maladie des transformations intéressantes, différentes peut-être de celles que donne la pébrine. Des recherches dans ce sens compléteront l'histoire de ces fermentations morbides. Il est cependant à peu près démontré par les expériences de M. Pasteur que ces microbes sont les agents morbifiques, ce que semble confirmer les travaux de ces dernières années, entre autres ceux de M. Ferry de la Bellone.

La chimie, on le voit, est pauvre de faits et de résultats dans ce domaine où la physiologie seule de ces maladies est à peu près connue, c'est pourquoi nous n'insisterons pas sur ces questions, d'une grande importance, il est vrai, mais qui attendent encore leur solution.

Ces maladies des vers à soie, essentiellement parasitaires et de nature fermentative, trouvent chez l'être supérieur des états tout à fait comparables. Nous venons de voir des microbes en chapelets déterminer la flacherie, puis des vibrions amener, suivant les termes de M. Pasteur, une véritable putréfaction. Dans les maladies humaines les mêmes phénomènes ; à côté de la maladie proprement dite, parasitaire ou non, apparaît le phénomène de la putridité, qui en quelque sorte est le dénouement de la scène pathologique, un véritable épiphénomène.

Mais, quel est le rôle chimique de la bactériodie charbonneuse ? M. Pasteur a démontré, sans pousser plus loin ses investigations, qu'elle était avide d'oxygène, qu'elle s'emparait de celui des globules rouges du sang. Il est probable cependant qu'elle peut fixer cet oxygène sur les albuminoïdes, et donner lieu à des combustions nécessaires à son développement. D'autres maladies, comme la fièvre typhoïde, la variole, les maladies infectieuses, peuvent déterminer dans l'organisme des destructions chimiques probablement analogues. Dans tous les cas, un second phénomène peut apparaître, c'est le phénomène de la putridité. Après ces désordres morbides occasionnés soit par la bactériodie charbonneuse, soit par les virus des autres maladies contagieuses, les vibriens anaérobies entreront en scène, et la putridité, dernière période de la maladie, pourra déjà se dessiner chez le vivant. Le malade meurt envahi par la bactériodie charbonneuse qui a détruit l'oxygène nécessaire à son existence, ou par le virus infectieux. Quoi qu'il en soit, son sang noir désoxygéné est un terrain des plus favorables pour la putréfaction.

Dans toutes ces fermentations pathologiques, dans la septicémie chirurgicale, comme dans la septicémie puerpérale, le premier point à établir c'est le rôle positif du ferment organisé. Il faut, comme l'a fait M. Pasteur, pour le charbon et le choléra des poules, démontrer que le microbe n'est pas un nouveau phénomène ajouté à un état morbide, mais bien un acteur indispensable. Le second point à étudier, c'est la

transformation des matériaux de l'organisme et en particulier des albuminoïdes. Secrète-t-il un ferment soluble toxique ou amène-t-il des dédoublements dont les termes sont toxiques, ou bien agit-t-il en enlevant à l'organisme certains principes chimiques indispensables à la vie ? Autant de points à éclaircir, l'horizon est sans borne et les découvertes seront lentes vu la difficulté de l'investigation.

M. Pasteur, dans ses belles recherches sur le choléra des poules, vient d'entreprendre l'explication du mécanisme et de la manière d'agir du microbe découvert par M. Toussaint. Il a remarqué que des poules pouvaient être *vaccinées*, et devenir réfractaires à l'influence nocive de ce microbe. Pourquoi n'agit-t-il plus chez une poule vaccinée, c'est-à-dire soumise à des inoculations de liquides atténués comme virulence ? Le microbe ou vaccin a-t-il détruit la substance chimique indispensable à sa vie, ou bien secrète-t-il un principe toxique qui ne permet plus à d'autres de ses semblables d'évoluer ? Le fait positif, c'est qu'une poule traitée par le liquide virulent atténué — M. Pasteur ne veut pas donner de détails sur la façon dont il obtient ces liquides de choléra moins virulents — est réfractaire à l'action des microbes des liquides très-virulents. Pour M. Pasteur, l'explication est la suivante (1) : « Quant à la cause de la non récidive, on ne peut se défendre de l'idée que le microbe auteur de la maladie trouve dans le corps de l'animal un

(1) Pasteur. Comptes-rendus, 26 avril 1880, p. 954, 957.

milieu de culture et que, pour satisfaire aux actes de sa vie propre, il altère ou détruit, ce qui revient au même, certaines matières, soit qu'il les élabore à son profit, soit qu'il les brûle par l'oxygène qu'il emprunte au sang, » deux pages plus loin, même communication à l'Académie des sciences, il ajoute : « Est-ce bien là néanmoins la seule explication possible des phénomènes? Non, à la rigueur on peut se rendre compte des faits de non récidence en admettant que la vie du microbe, au lieu d'enlever et de détruire certaines matières dans le corps des animaux, en ajoute, au contraire, qui seraient pour le microbe un obstacle à un développement ultérieur. L'histoire de la vie des êtres inférieurs, et de tous en général, autorise une telle supposition. Les sécrétions nées du fonctionnement vital peuvent s'opposer à un fonctionnement vital de même nature. » Enfin, en mai dernier M. Pasteur a découvert dans l'extrait du microbe du choléra des poules un principe spécial, produit de sécrétion, qui, injecté sous la peau d'une poule neuve, détermine au bout de peu de temps des désordres nerveux bien nets et une somnolence qui peut durer environ quatre heures. Il s'est assuré que ce narcotique prenait naissance pendant la vie du microbe.

Nous terminerons ces considérations très-générales, sur un terrain à peine exploré au point de vue chimique, en gardant, au milieu de ces travaux remarquables, une stricte réserve sur les découvertes à venir. Nous craindrions de tomber dans l'excès et de vouloir attribuer à des microorganismes toutes les maladies

infectieuses. Les travaux de MM. Coze et Feltz, montrent que beaucoup d'êtres inférieurs ne déterminent aucun accident lorsqu'ils sont injectés dans le torrent circulatoire. L'avenir répondra où il faut établir la ligne de démarcation entre le parasitisme proprement dit et les phénomènes virulents indépendants.

CHAPITRE X

Nous ne sommes que sur le seuil de la découverte et l'on peut se demander si le temps est venu d'expliquer.
pourtant il est quelquefois utile de revoir et de systématiser les connaissances acquises, pour montrer combien il reste encore à faire.

DAVID FERRIER (Fonctions du cerveau.)

Voici que nous touchons à la dernière étape.

Comment, à cette heure, résumer d'une façon claire et précise les données et les phases du problème? Comment dresser et maintenir en faisceaux les éléments épars que nous venons de rassembler à la hâte? Comment, enfin, grouper dans un ordre saisissant et rationnel ces décompositions organiques si diverses, ou mieux ces séries d'êtres microscopiques mais vivants, aux évolutions variées, souvent insaisissables, dont ces mouvements et ces altérations dépendent? Dans l'état actuel de la science, en face d'inconnues nombreuses que les efforts de tous pourront seuls dégager dans le temps, la chose est malaisée. L'entreprendre, avec espérance de succès, serait, à coup sûr, présomption et témérité.

Rien, pour ainsi dire, n'a été jusqu'à présent tenté dans cette voie. Dans un travail tout récent sur les champignons inférieurs et les décompositions qu'ils amènent, M. Nœgeli (1), arrive, un des premiers, à publier comme un essai de classification.

L'œuvre est d'un botaniste, et les ferments, ou plutôt les décompositions liées aux fermentations, sont ramenés à quatre types et répartis ainsi :

Décompositions produites par :		1° les <i>Saccharomyces</i> (levûre);
—	—	2° les <i>Schizomicètes</i> (bactéries);
—	—	3° les <i>Mucédinées</i> (moisissures);
—	—	4° Par d'autres agents purement

chimiques (sans actions d'organismes). — Les phénomènes d'humification seraient rattachés à ce groupe.

Pour l'auteur, cette division, outre son mérite pratique, posséderait une valeur scientifique réelle, car, dit-il : Le meilleur caractère d'un phénomène naturel se tire de la cause qui le produit.

Excellente peut-être au point de vue botanique, cette nomenclature ne peut nous satisfaire, ni s'adapter à notre cadre. Au premier coup d'œil, nous y voyons, en effet, groupés et placés côte à côte, des agents chimiques susceptibles d'effets manifestement hétérogènes.

Des *saccharomyces*, par exemple, les uns agissent par simple dédoublement; les autres (*mycoderma vini*),

(1) *Revue internat. des sciences*, de de Lannessan, t. I, p. 30, 1878.

au contraire, sont des oxydants plus ou moins énergiques, suivant leur position et l'état des milieux. Si dans certains cas, avec l'alcool comme point de départ, l'acide acétique apparaît dans les produits obtenus, on voit le plus souvent l'oxydation devenir plus complète, et la décomposition finir par les termes ultimes : eau et acide carbonique.

Les schizomicètes ou bactériens présentent des divergences d'action plus marquées encore.

Ainsi, placé dans des conditions convenables, le mycoderma aceti, fournit une oxydation nette et régulière, tandis que le ferment lactique traduit sa présence par une simple modification isomérique, et le bacillus subtilis par une décomposition véritable.

D'un autre côté, le ferment de l'urine agit, non par lui-même, mais bien par un produit de sécrétion, ferment soluble, diastasique, découvert par M. Musculus, et qui dérive, comme l'ont démontré MM. Pasteur et Joubert, de la torula de M. Van Tieghem.

Enfin, parmi ceux-là dont nous connaissons l'action, il en est qui sont susceptibles de décomposer les matières albuminoïdes, de dégager de l'acide sulfhydrique, et d'opérer même, en certains cas, de véritables synthèses.

Le troisième groupe soulève les mêmes objections et les mêmes critiques. Les Mucédinées, en effet, tantôt agissent comme moisissures, c'est le fait ordinaire, et tantôt par les *mucor mucedo* et *racemosus*, donnent naissance à la fermentation alcoolique.

Quelques unes d'elles, enfin, le *penicillium glaucum*, l'*aspergillus niger*, — en outre de la curieuse action de la première sur les acides tartriques — peuvent, suivant les habitats, hydrater et dédoubler le tannin en glucose et acide gallique, ou bien, au contraire, le brûler et laisser des produits tout différents.

Nous ne nous arrêtons pas à la dernière classe, car l'humification, produite par des agents chimiques, sans intervention de ferments figurés (?), ne ressortit pas à notre sujet.

Pourrait-on davantage, comme l'indique le même auteur, édifier une théorie sur le dégagement plus ou moins considérable d'acide carbonique pendant la fermentation ? Mais la base fait défaut fort souvent, et serait, en tous cas, bien fragile.

En somme, tenter une classification, c'est vouloir expliquer le phénomène, c'est prétendre donner la clef du mécanisme fonctionnel des ferments. Et le pouvons-nous ? Si nous connaissons les termes des fermentations alcoolique, acétique, ammoniacale..., en dirons-nous autant au sujet des albuminoïdes ? A vrai dire, les produits de décomposition sont par trop complexes et trop mal connus encore, malgré les remarquables travaux de M. Schützenberger.

Que savons-nous aussi des actions des différents schizomicètes, tels que les *micrococcus vaccineæ*, *diphthericus* (*oidium albicans* — Robin), *septicus*, *bombycis* ? et du *bacillus anthracis*, du *leptothrix buccalis*, etc., etc. ?

Sont-elles d'essence vitale ? Naguère, on pouvait y songer, sous réserves, mais demain peut-être, sinon aujourd'hui, les idées de Cl. Bernard et Berthelot ne vont-elles pas prendre corps, grandir et s'imposer ?

Déjà nous connaissons le ferment soluble de l'urée ; voici que M. Berthelot trouve le ferment inversif des saccharoses, produit de sécrétion des levûres, et à l'instant même, M. Pasteur ne découvre-t-il pas, dans l'extrait de microbe du choléra des poules, un principe particulier toxique, sur un mode différent cependant du microbe producteur !

Sachons donc attendre, ou, les regards tournés vers l'avenir, escomptant d'avance et à tort, peut-être, ses découvertes et ses conquêtes, disons : Les fermentations sont des réactions chimiques, déterminées par des produits de sécrétions cellulaires spéciaux, et sans doute, différents pour chacune d'elles (1).

(1) Thèse pour l'agrégation des Facultés de Médecine, 1880.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
AVANT-PROPOS	5
CHAPITRE PREMIER.	
FERMENTATION ALCOOLIQUE	9
Levures alcooliques	10
Composition chimique de la levure . . .	13
Corps fermentescibles	15
Origine du ferment	22
Fonction et rôle chimique	26
Conditions qui empêchent ou favorisent la fermentation alcoolique	47
Fermentation provoquée par des ferments autres que la levûre	49
FERMENTATION DE LA GLYCÉRINE	51
Fermentation de la Mannite	52
CHAPITRE II.	
FERMENTATION ACÉTIQUE	53
Ferments qui peuvent encore provoquer la fermentation acétique	60
FERMENTATION SUCCINIQUE	63
Fermentation mucique	66
CHAPITRE III.	
FERMENTATION NITRIQUE	68

CHAPITRE IV.

	Pages
FERMENTATION GALLIQUE.	74
Causes qui favorisent ou empêchent cette fermentation.	83

CHAPITRE V.

FERMENTATION AMMONIACALE	85
Corps fermentescibles,	87
Rôle et fonction du ferment.	89
Causes qui peuvent l'influencer	95

CHAPITRE VI.

FERMENTATION MANNITIQUE DES SUCRES	97
--	----

CHAPITRE VII.

FERMENTATION LACTIQUE	99
Ferment, sa nature	101
Corps fermentescibles.	102
Rôle chimique du ferment.	104
Fermentation du lait.	107

CHAPITRE VIII.

FERMENTATION BUTYRIQUE.	110
Fermentation de la cellulose.	115

CHAPITRE IX.

FERMENTATION DES ALBUMINOÏDES	120
Fermentation sulphydrique	123
— de la caseïne.	126
Putréfaction.	130
FERMENTATION DES ALBUMINOÏDES CHEZ LE VIVANT	158

CHAPITRE X.

CONCLUSIONS	170
-----------------------	-----